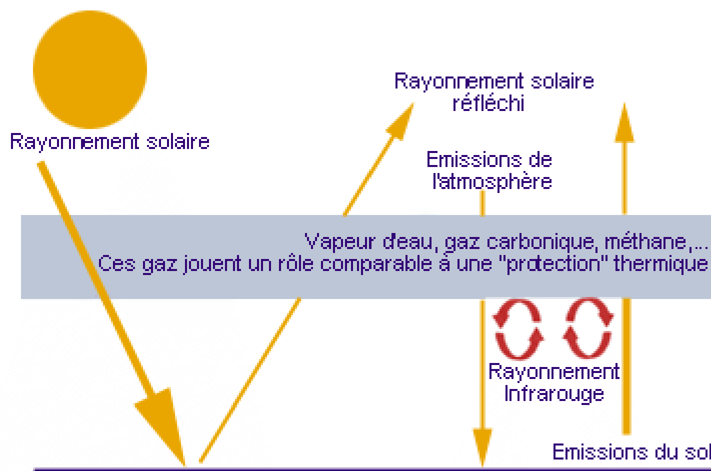
PREMIERE PARTIE : UN DIAGNOSTIC IMPLACABLE

I – LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE : LE FEU EST DANS LA MAISON

L'effet de serre est, au départ, un phénomène naturel. Les climatologues ont constaté, au cours du XX^e^ siècle, une élévation globale et rapide des températures. En tenant compte de l'inertie climatique, qui, dans un premier temps a freiné cette élévation, les scientifiques estiment que cette accélération de l'évolution du climat résulte, pour la plus grande partie, des activités humaines depuis la deuxième moitié du XIX^e^ siècle.

A – QU'EST-CE QUE L'EFFET DE SERRE ?

L'effet de serre est un phénomène naturel qui permet de maintenir, à la surface de la terre, une température positive moyenne compatible avec le développement de la vie. Le soleil rayonne de l'énergie solaire sur la terre. La majeure partie de cette énergie (45%) est renvoyée dans l'espace. Les gaz à effet de serre de l'atmosphère contribuent au réchauffement global par absorption et réflexion de l'énergie atmosphérique et solaire. Si les gaz à effet de serre n'existaient pas, les températures sur terre seraient inférieure à - 18 degrés. A l'état naturel, la vapeur d'eau (H_2O) est le gaz à effet de serre le plus présent dans l'atmosphère. On trouve aussi le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O) et l'ozone troposphérique (O_3).



Source : Institut d'aéronomie spatiale de Belgique

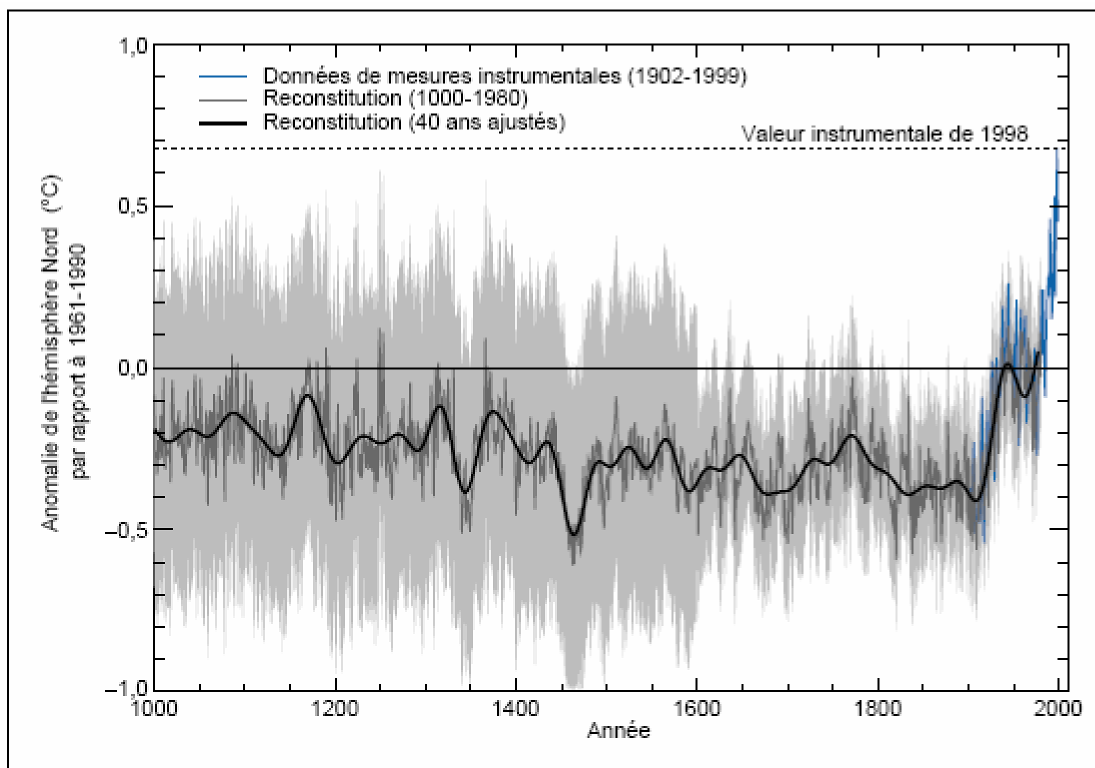
VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

B – QU'EST-CE QUE LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE ?

Il est avéré que la température moyenne globale à la surface (la moyenne de la température de l'air près de la surface du sol et de la température à la surface de la mer) a augmenté depuis le début de l'ère industrielle. Au XX^{e} siècle, cette augmentation a été de 0,6 degré.

Les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques (GIEC) mettent en évidence l'augmentation de la température moyenne mondiale entre 1860 et 2000. Au cours du XX^{e} siècle, cette augmentation a ainsi été de 0,6 degré. Très probablement, les années 1990 auront constitué la décennie la plus chaude et 1998, l'année la plus chaude jamais mesurée.



Reconstitution des températures de l'hémisphère Nord (HN) du millénaire (gris foncé - données tirées des cercles de croissance des arbres, des coraux, de carottes glaciaires et de relevés historiques) et données instrumentales (bleu) pour la période 1000-1999. Une version ajustée des données HN (noir) et deux limites d'écart type (grisé) sont également indiquées. *Source : GIEC 2001*

L'augmentation de la température au XX^{e} siècle aura été probablement la plus importante de tous les siècles observés. Depuis 1950, l'augmentation de la température de la surface de la mer est d'environ la moitié de celle de la température moyenne de l'air à la surface de la terre. Pendant cette période, les

températures nocturnes journalières minimales au-dessus des terres ont augmenté en moyenne de 0,2 degré par décennie, soit environ le double du taux d'augmentation des températures diurnes maximales de l'air. Ces variations climatiques ont prolongé la saison sans gel dans nombre de régions à moyenne et haute altitude.

Ce réchauffement est caractérisé par une ampleur et une rapidité inédites. Lors de son audition par la Mission, M. Robert Kandel, directeur de recherche au CNRS, a caractérisé la rapidité du réchauffement en cours : « *Le réchauffement prévisible de cinq degrés au cours du XXI^e^ siècle est équivalent à celui qui a mis fin aux glaciations il y a quinze mille ans, la différence étant que ce qui avait pris plusieurs milliers d'années va prendre cette fois moins d'un siècle* »[1].

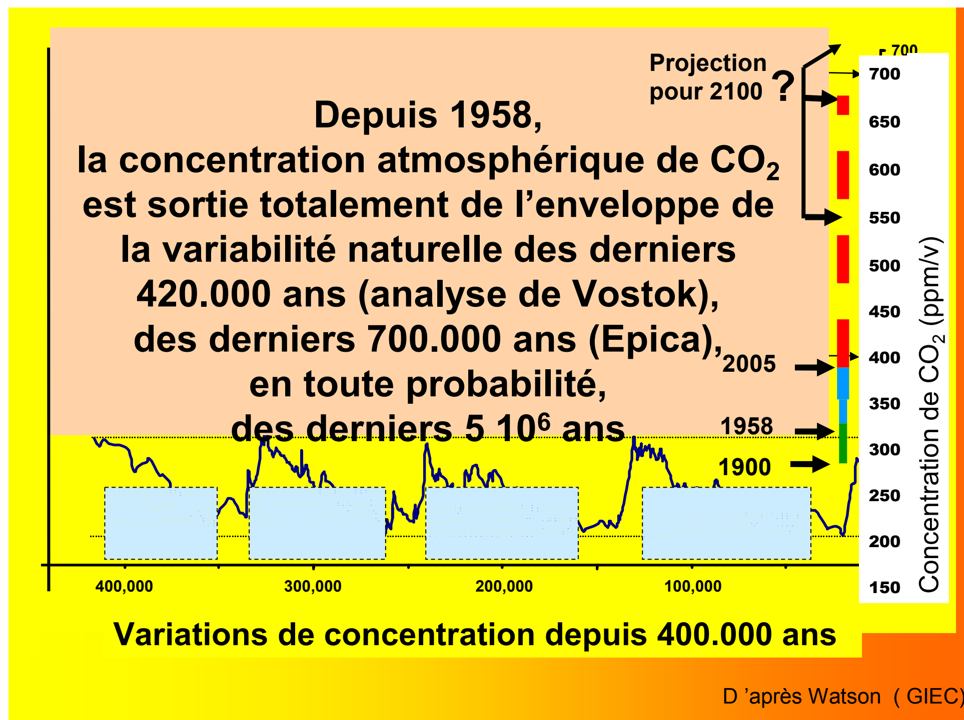
Pour mémoire, il peut être rappelé, qu'il y a vingt mille ans, au cours du dernier « maximum glaciaire », la température moyenne de la Terre était plus froide d'environ cinq degrés comparé à aujourd'hui. A cette époque, l'Europe et l'Amérique du Nord étaient couvertes de glace.

C - L'ACTIVITE HUMAINE EST L'ORIGINE ESSENTIELLE DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

L'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre du fait des activités humaines a provoqué une amplification sans précédent de l'effet de serre. Depuis le début de l'ère industrielle, la concentration de CO_2 est passée de 280 à 377 parties par million, soit une augmentation de 30%, tandis que la concentration d'oxyde d'azote a augmenté de 15% et que celle de méthane a été multipliée par 2,45. L'atmosphère est devenue plus opaque aux infrarouges qui sont alors renvoyés plus difficilement vers l'espace et réfléchissent leur chaleur vers la Terre, provoquant par là le réchauffement climatique.

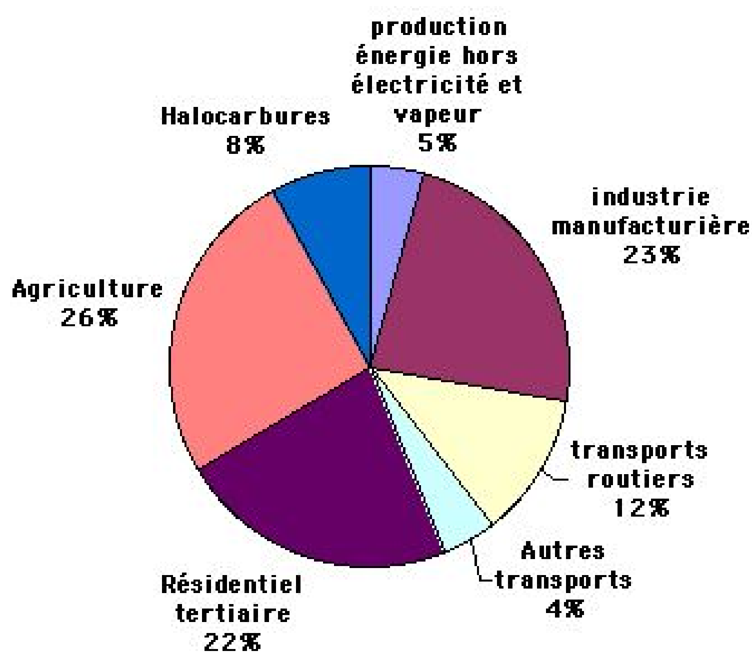
---

[1] *L'hypothèse d'une hausse de cinq degrés au cours du présent siècle, estimée très pessimiste il y a une décennie, est aujourd'hui considérée comme optimiste par certains scientifiques qui pensent, qu'à données constantes, cette augmentation pourrait être de huit degrés.*



M. Jean Jouzel, directeur de l'Institut Pierre Simon Laplace, a précisé devant la Mission que pour *« limiter, à l'horizon de la fin du XXI*[e] *siècle, la concentration de* CO_2 *à 450 ppm au lieu d'environ 380 actuellement, il nous faudra redescendre à 2 ou 3 milliards de tonnes d'émissions par an, et probablement moins à long terme »*

En 2001, quatre grands secteurs contribuaient pour un peu plus de 20 % chacun aux émissions au plan mondial (après réaffectation de l’électricité aux secteurs utilisateurs) : agriculture et sylviculture, résidentiel et tertiaire, transports, industries manufacturières. A cela, il faut ajouter la déforestation.



Répartition approximative des émissions de gaz à effet de serre hors ozone dans le monde par secteur, 2000, après réaffectation de l ’électricité aux secteurs utilisateurs (Sources primaires IPCC & AIE)

M. Robert Kandel a encore exposé à la mission d'information que : *« On brûle des carburants fossiles depuis 1750 et on a commencé à parler du problème du renforcement de l'effet de serre dès 1896. Mais, alors qu'à l'époque, 500 millions de tonnes de carbone étaient converties en CO_2, depuis les émissions ont été multipliées par quatorze, essentiellement par la combustion du charbon, puis du pétrole, puis du gaz naturel. Aujourd'hui, plus de 7 milliards de tonnes de carbone sont émises chaque année vers l'atmosphère sous forme de CO_2. La moitié de ce carbone s'accumule dans l'atmosphère ».*

Aussi, depuis l'année 2001, le rapport du GIEC considère qu'aucun des modèles climatiques actuellement utilisés ne sait reproduire la hausse des températures sur la deuxième moitié du XX^e^ siècle sans faire intervenir les émissions de gaz à effet de serre (d'origine humaine). Il est important de souligner fortement ce fait : les éléments scientifiques dont nous disposons indiquent clairement à présent la responsabilité humaine dans les changements climatiques constatés depuis quelques décennies. C'est un fondement essentiel pour l'action. Il n'y a plus de ce point de vue, au moins sur les bases du phénomène, de doute scientifique sérieux. Il pourra toujours rester des opinions divergentes, et, heureusement, des débats[1], pas toujours simples à interpréter, mais il faut se baser sur les données scientifiques disponibles pour renforcer la mobilisation de chacun, même si on n'a pas de certitude sur tout. C'est capital pour l'avenir.

---

[1] **Un exemple de débat, au cours de la table ronde réunissant les représentants du CNES et de l'ESAM , dont le compte rendu intégral figure ci-joint, dans le « Tome auditions » de ce rapport :**

M. Stefano Bruzzi, de l'ESA*: « Personne ne sait comment évoluera le processus de réchauffement dans les cent prochaines années. Pour se forger des certitudes et parvenir à des décisions politiques, il faut améliorer les modèles de prévision du climat et les valider sur des périodes de dix à vingt ans. En attendant la prudence s'impose, hormis pour des choix comme la réduction de l'utilisation des combustibles fossiles, afin de limiter les pollutions urbaines, devenues simplement intolérables ».*

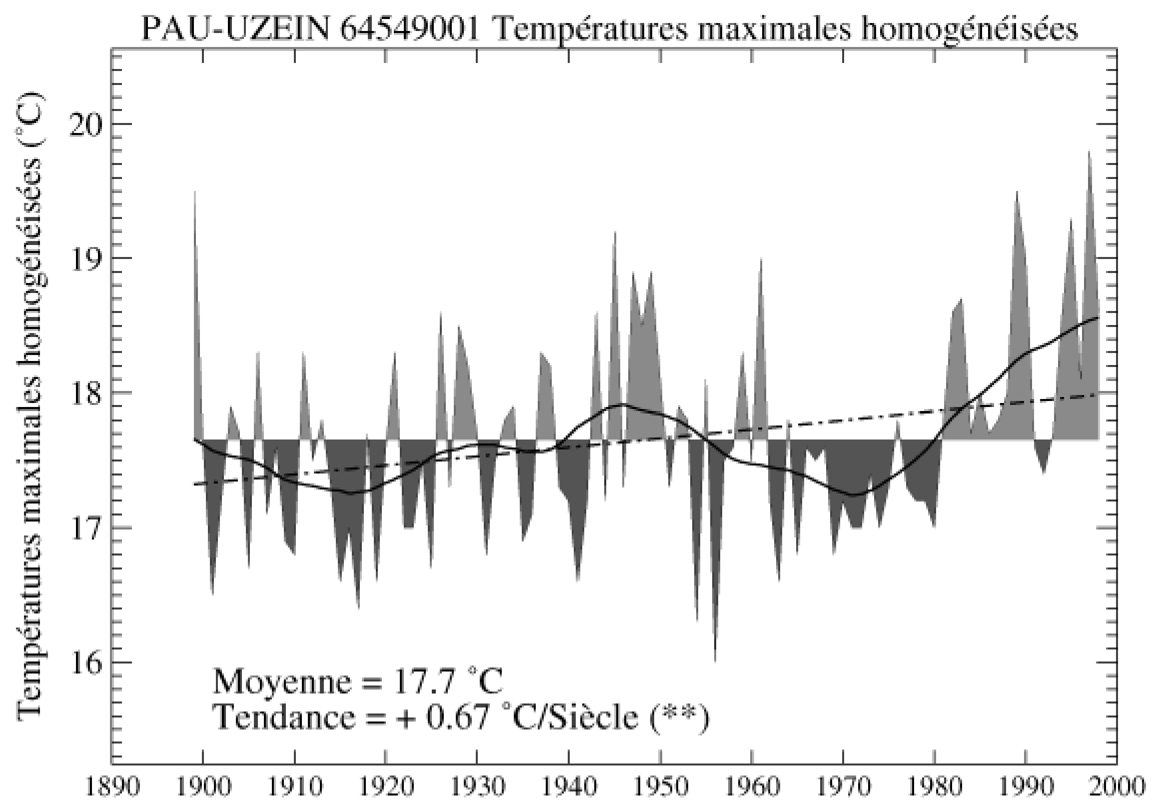
M. Robert Kandel : *« La projection climatique est bien différente (des prévisions météorologiques), et il est possible de remonter bien au-delà de vingt ans : en 1896 , il avait été prévu que le taux de gaz carbonique dans l'atmosphère augmenterait à cause de la combustion du charbon à grande échelle – ce qui s'est vérifié en 1975- et qu'un effet se ferait aussi sentir en matière de température. (…) Le renforcement de l'effet de serre et le réchauffement accéléré imputables aux activités humaines sont certains. L'incertitude porte sur le cycle de l'eau et sur la rétroaction positive du cycle du carbone, ce qui appelle des efforts importants de la part des agences spatiales afin d'obtenir des informations et de valider les modèles ».*

EVOLUTION DES TEMPERATURES EN FRANCE

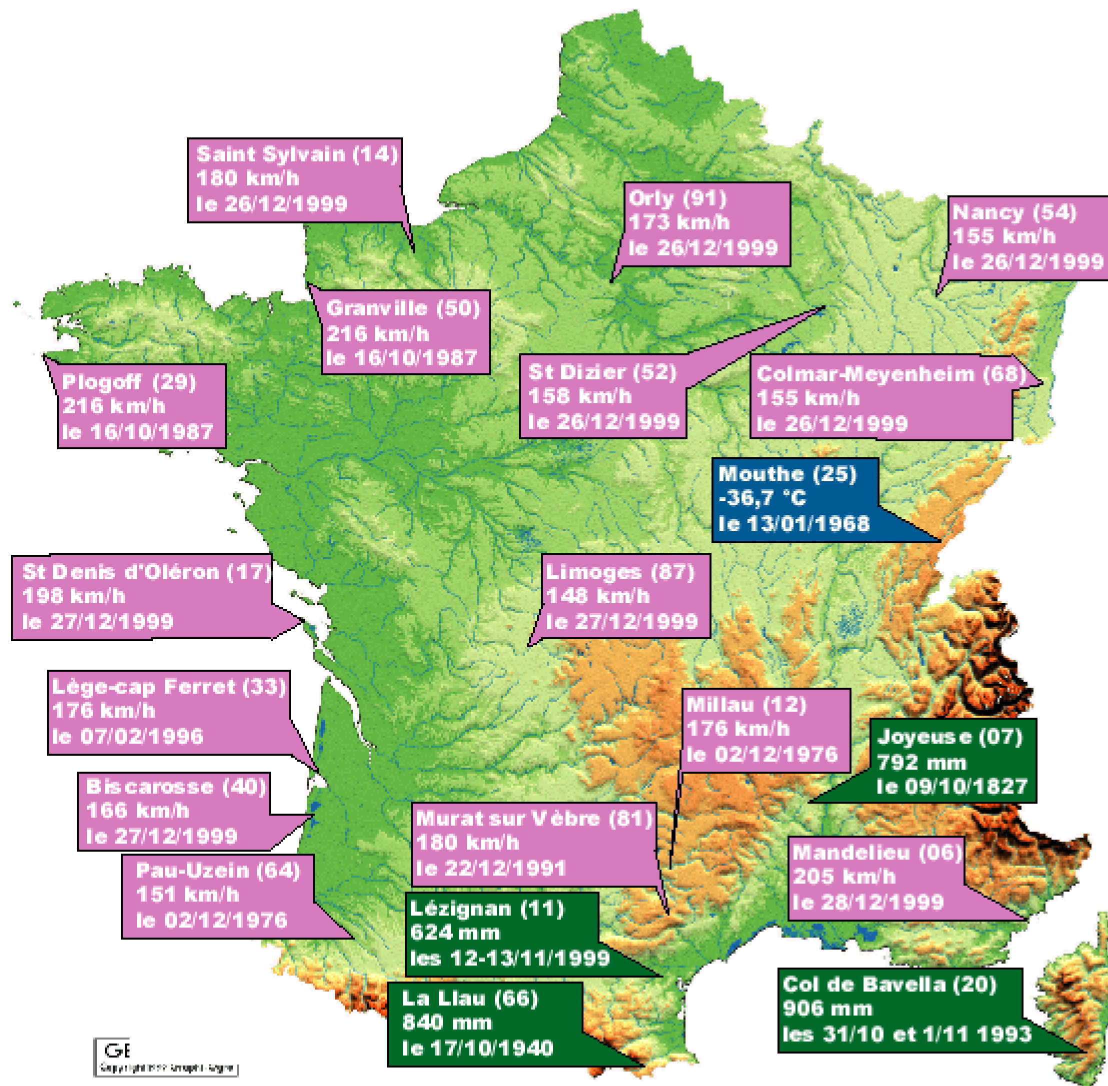
Les séries mensuelles montrent une tendance à la hausse des températures moyennes en France de l'ordre de 1 degré sur le XX^{e} siècle et de fortes disparités entre les paramètres (réchauffement plus marqué pour les minimales que pour les maximales), entre les régions (gradient du réchauffement Est-Ouest pour les minimales et Nord-Sud pour les maximales), et entre les saisons (les minimales ont le plus augmenté en été et les maximales en automne). Le réchauffement s'accélère en fin de siècle et, par exemple, la tendance 1976-2003 est de l'ordre de 0,6 degré par décennie. Les tendances de températures moyennes sur 1951-2000 sont de l'ordre de 0,2 à 0,3 degré par décennie. Si on se confronte aux analyses classiques, les conclusions sont nettes pour les phénomènes suivants : températures maximales plus élevées ; plus d'étés chauds ; températures minimales plus élevées ; moins de jours de gel. Elles sont relativement nettes pour les phénomènes suivants : plus de vagues de chaleur ; moins de vagues de froid. Sur un grand nombre d'indices, l'année 2003 ressort nettement. La richesse des indices a permis aussi de repérer des traces d'augmentation de la variabilité des températures maximales, sur 1951-2000, surtout en été : les températures les plus froides ont moins augmenté que les températures les plus chaudes. Cet effet de variabilité traduit donc une augmentation des températures estivales élevées plus forte que ne l'aurait laissé supposer le seul examen de la moyenne.

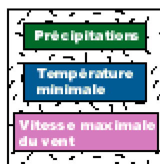
Source : Greenpeace, rapport « Impact », novembre 2005

Températures maximales homogénéisées de 1900 à 2000
pour la station de Pau-Uzein



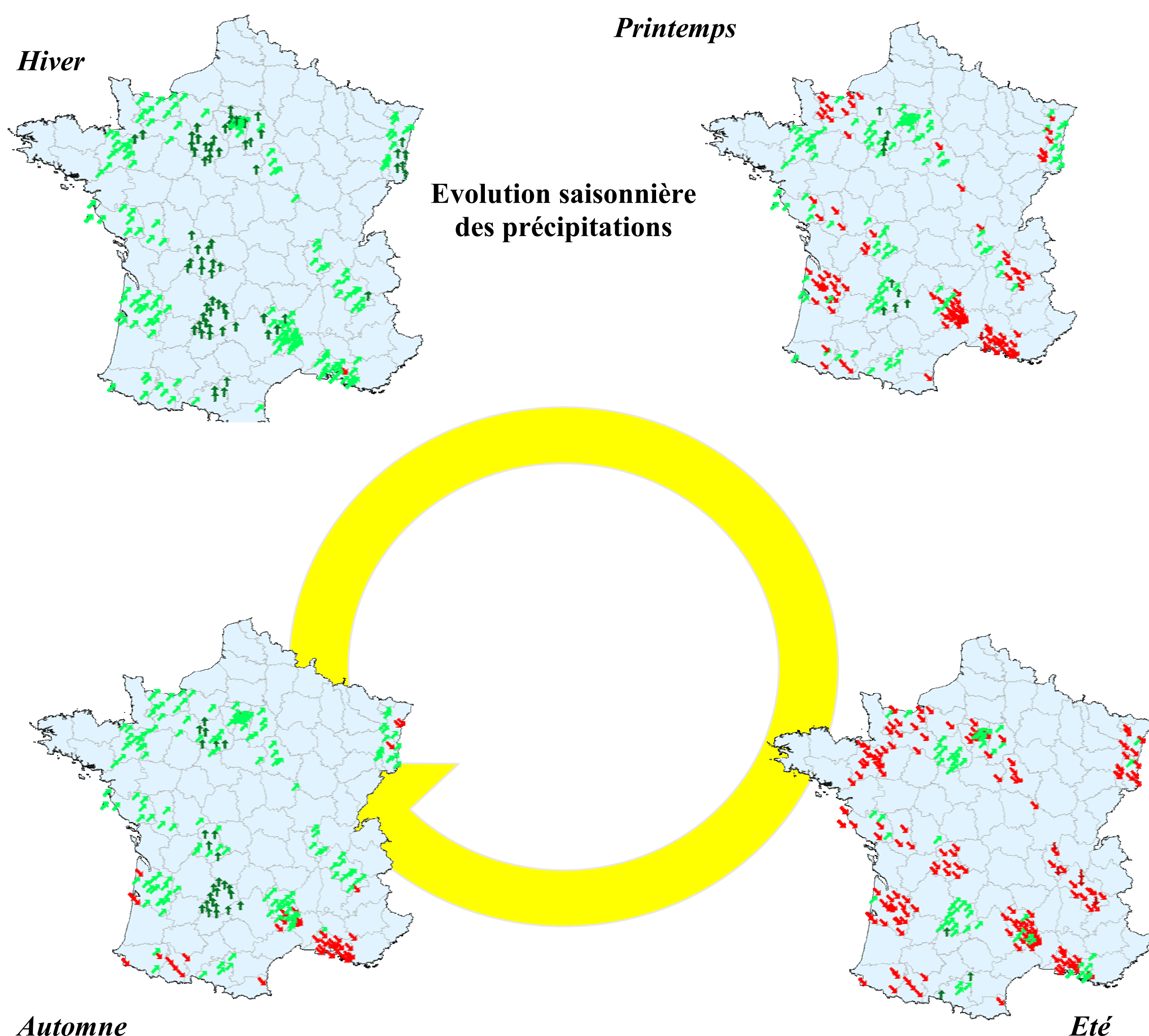
Source : Météo France





Quelques valeurs extrêmes

Source : Météo France



D'après M. Eric Brun, directeur du Centre national de recherches météorologiques, auditionné par la mission : *« S'agissant des précipitations, les graphiques sont un peu plus difficiles à interpréter, la variabilité étant plus forte que celle des températures. Il faut donc être beaucoup plus prudent pour dégager un signal statistique significatif. On peut constater un tel signal pour l'augmentation des précipitations hivernales, mais seulement dans certaines régions. Il est donc difficile d'en tirer des conclusions quant à une tendance importante. Le renforcement des précipitations apparaît également en automne, sauf dans le sud de la France. Aucune tendance vraiment significative n'est observable au printemps. En été, on note une baisse des précipitations sur l'ensemble du territoire. Il s'agit également d'observations caractéristiques du changement climatique correspondant aux modèles pour l'avenir ».*

D – OU ALLONS-NOUS ? LES PREVISIONS GLOBALES

S'il fallait comparer le système climatique à un moteur, il faudrait admettre que « la machine infernale » est en marche. Au cours de son audition, M. Jean Jouzel a indiqué que « *quand bien même nous arrêterions complètement les émissions* (de gaz à effet de serre), *le XXIe siècle n'en connaîtrait pas moins un réchauffement équivalent à celui du XXe siècle compte tenu de tout ce qui est déjà « emmagasiné », c'est-à-dire d'un demi à un degré. Les pays occidentaux sauront sans doute s'y adapter mais il serait égoïste de laisser le reste du monde aux prises avec un climat très difficile dans la deuxième moitié du XXIe siècle ».*Il a rajouté *: « Si aucune limite n'est mise à l'utilisation des combustibles fossiles, l'émission totale de* CO_2 *pourrait passer, d'ici à la fin du XXIe siècle, de 7 à 28 milliards de tonnes par an. Mais même le scénario le plus « vertueux », le plus optimiste, c'est-à-dire le maintien des émissions à leur niveau actuel, aboutit à un doublement de la concentration à la fin du XXIe siècle, du fait que les rejets, même stabilisés, s'accumulent dans l'atmosphère année après année ».*

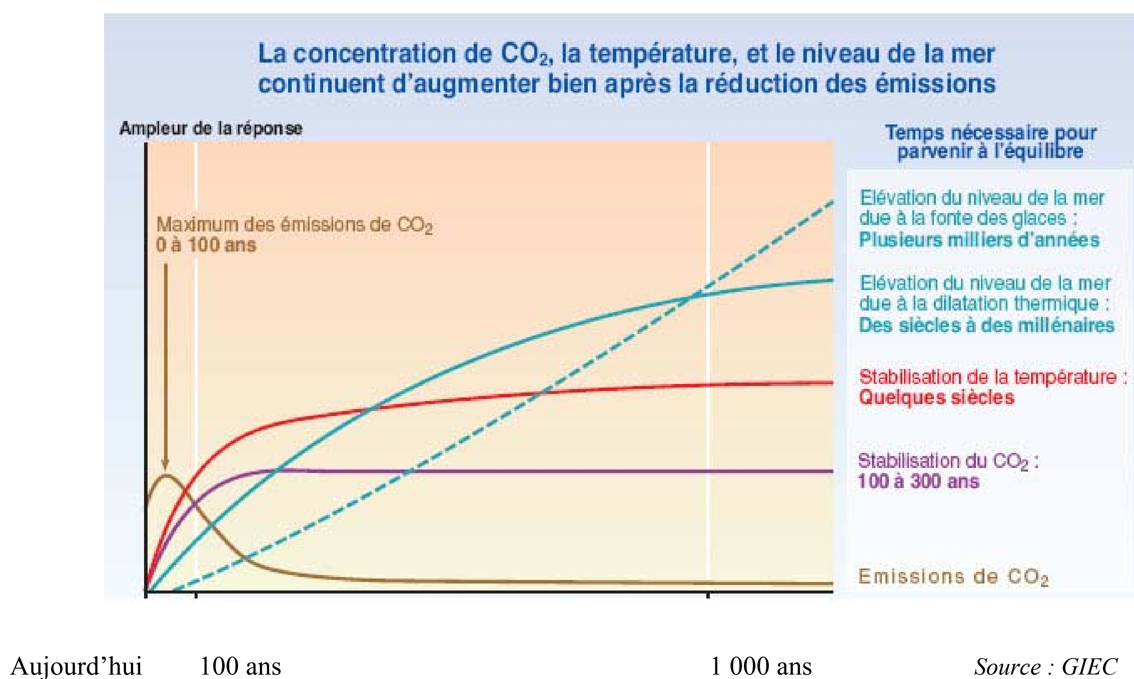
L'inertie du système climatique produit deux effets. Ses réactions sont longues, comme le prouve la capacité de stockage des puits de carbone mais, une fois le changement acquis, celui-ci se poursuit dans le système après la disparition de sa propre cause. Ainsi, les gaz à effet de serre émis aujourd'hui resteront stockés dans l'atmosphère et continueront de produire leurs effets. Le tableau ci-dessous donne la « durée de vie » dans l'atmosphère des principaux gaz à effet de serre émis par l'homme.

Gaz	Temps de résidence approximatif dans l'atmosphère
Gaz carbonique	100 ans
Méthane	12 ans
Protoxyde d'azote	120 ans
Halocarbures	Jusqu'à 50 000 ans

Source : Jean-Marc Jancovici, consultant

M. Philippe CIAIS (laboratoire des sciences du climat et de l'environnement) a indiqué à la Mission que **:** *« Pour stabiliser le CO_2 dans l'atmosphère, il faudra à terme réduire les émissions bien en dessous des valeurs actuelles à l'horizon 2100. Cela dit, l'impact des émissions sur les concentrations atmosphériques est en partie irréversible, si 45% des émissions annuelles sont absorbées par la végétation et l'océan en un an, les 55% restant ont une « durée de vie » beaucoup plus longue. Environ 20% du carbone fossile injecté dans l'air vont en fait rester dans l'atmosphère très longtemps pour le futur. Il faudra attendre des dizaines de millénaires pour que les processus géologiques (érosion…) « nettoient » tout l'excès de carbone anthropique, et que l'atmosphère retrouve les niveaux de CO_2 de l'ère préindustrielle. Compte tenu de la masse supplémentaire de carbone fossile émis dans l'atmosphère, un changement radical est possible au cours des cent prochaines années. Si le CO_2 atteint par exemple une valeur aussi élevée que 1 000 ppm, le climat va devenir très chaud, peut-être dangereusement chaud. Si, grâce aux efforts, le niveau est limité à 700 ppm, cela sera mieux pour l'humanité. L'enjeu du changement climatique concerne les cent ou deux cents prochaines années ; dans mille ans, les écosystèmes auront été affectés mais le climat se sera de nouveau stabilisé. Nous partons d'un climat froid ; dans mille ans, il sera tiède ; la grande incertitude consiste à savoir si au cours des deux ou trois prochaines générations d'humains, il sera chaud, très chaud ou très très chaud. Et le niveau de réchauffement que vivront nos descendants dépend bien sûr de notre capacité à limiter ou pas les rejets de CO_2 et d'autres composés à effet de serre dans l'atmosphère ».*

Le graphique ci-dessous, montre, qu'après réduction des émissions de CO_2 et stabilisation des concentrations atmosphériques, la température de l'air à la surface continue d'augmenter lentement pendant un siècle ou plus. La dilatation des océans se poursuit bien après la réduction des émissions de CO_2 et la fonte des islandsis continue de contribuer à l'élévation du niveau de la mer pendant plusieurs siècles.

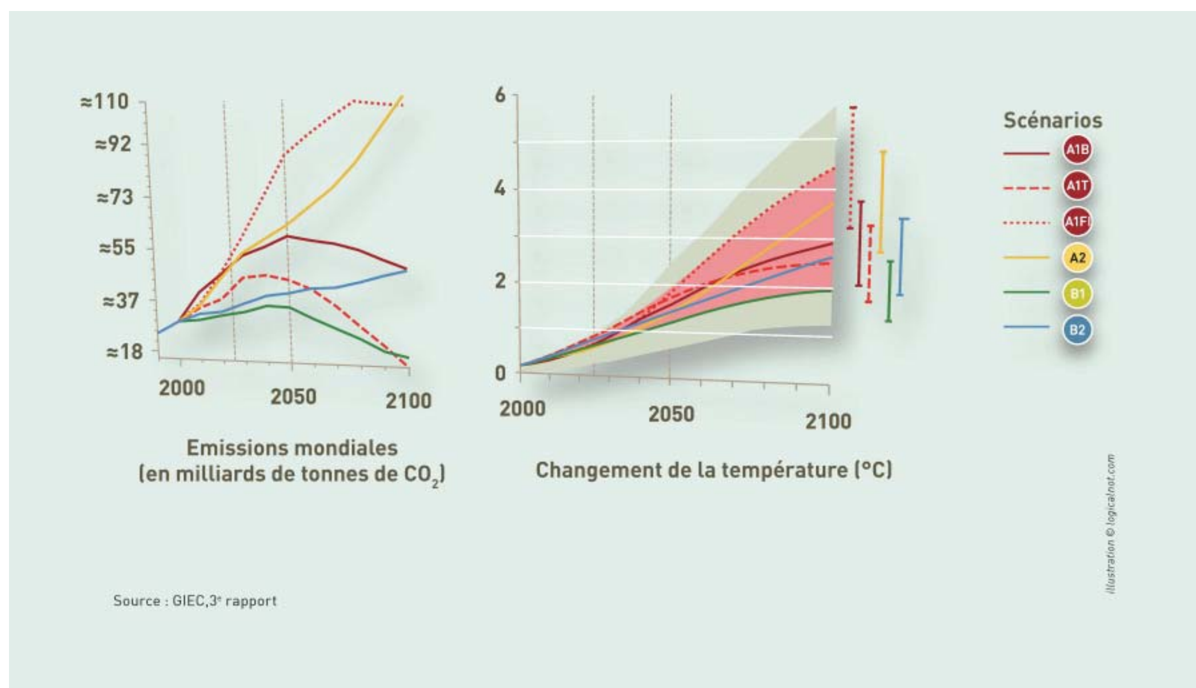


Aujourd'hui 100 ans 1 000 ans *Source : GIEC*

On trouve, dans le rapport 2001 du GIEC, le constat suivant *: « Les changements climatiques prévus auront des effets bénéfiques et néfastes sur les systèmes environnementaux et socio-économiques, mais plus l'ampleur et le rythme de ces changements seront importants, plus les effets néfastes*

prédomineront ». Le tableau ci-dessous donne l'évolution de la température moyenne de surface prévisible pour le XXI^e siècle en fonction de divers scenarii d'évolution des émissions de gaz à effet de serre.

SCENARII D'EVOLUTION DES TEMPERATURES EN FONCTION DE L'EVOLUTION DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE D'APRES LES TRAVAUX DU GIEC



Le graphique de gauche montre les différentes trajectoires d'émissions de CO_2 tout au long du XXI^e siècle, liées à chacun des scenarii du GIEC.

Le graphique de droite présente l'augmentation des températures qui résulterait de ces mêmes scenarii.

A droite du graphique, chacune des barres verticales indique la fourchette de réchauffement possible en 2100 pour un scenario d'émissions donné.

La bande claire représente l'enveloppe des incertitudes liées aux hypothèses de développement de la société humaine, sans tenir compte des incertitudes liées aux modèles climatiques.

La bande foncée englobe toutes les incertitudes : celles résultant des scenarii du GIEC sur notre développement futur et celles tirées des modèles climatiques.

Source : Réseau action climat

Modèle climatique et scenario climatique

Modèle climatique :

Les modèles climatiques s'appuient sur les lois fondamentales de la physique, exprimées sous forme d'équations mathématiques, pour simuler le comportement du système climatique, qui comprend les océans, l'atmosphère, la terre et la glace. La modélisation mathématique est un outil puissant, qui permet d'approfondir le système complexe de la Terre et d'étudier de quelle façon il réagit à la fois au forçage radiatif externe et à la variabilité et aux rétroactions internes du système climatique. La compréhension et la modélisation du système climatique nous permettent d'entrevoir l'évolution future des structures physiques, sociales et économiques, et ce à différentes échelles spatiales et temporelles.

Source : Service météorologique du Canada

Scenario climatique :

Représentation plausible et souvent simplifiée du climat futur, fondée sur un ensemble cohérent de relations climatologiques et établie expressément pour déterminer les conséquences possibles des changements climatiques dus à des facteurs anthropiques, qui sert souvent à alimenter les modèles d'impact. Les projections climatiques servent fréquemment de matière première pour l'élaboration de scenarii climatiques, mais ceux-ci nécessitent des informations supplémentaires, par exemple sur le climat observé actuellement. Un scenario du changement climatique correspond à la différence entre un scenario climatique et le climat actuel.

Source : GIEC 2001

C'est en grande partie grâce à la modélisation et aux divers scenarii élaborés à partir de modèles que nous pouvons connaître les évolutions prévisibles pour le XXI^{e} siècle et disposer ainsi des bases nécessaires pour lutter contre le changement climatique. Ces modèles connaissent cependant leurs limites tant il est vrai qu'il n'est pas actuellement possible d'y intégrer l'ensemble des facteurs et variables susceptible d'influencer le climat.

Hypothèses	Scénario «Technologies énergétiques»			Scénario «Hétérogène»	Scénario «Régional»	Scénario «Convergent»
Évolution de la population	Culmine en 2050, pour décliner ensuite.			Accroissement continu.	Accroissement faible mais continu.	Culmine en 2050, pour décliner ensuite.
Situation économique entre régions du globe	Croissance très rapide. Réduction des différences régionales dans le revenu / habitant.			Croissance très fragmentée. Developpement régional.	Niveaux intermédiaires de développement économique. Viabilité économique.	Vers une économie fondée sur la prestation de services.
Protection de l'environnement	Solutions essentiellement technologiques.			Disparité des solutions.	Solutions axées sur le régional.	Solutions mondiales.
Evolution et diffusion des nouvelles technologies	Evolution très rapide Forte pénétration des nouvelles technologies énergétiques.			Evolution très lente et très fragmentée entre régions.	Evolution lente et disparité des technologies selon les régions.	Evolution et diffusion rapides des technologies propres et de l'efficacité énergétique.
	Tout fossile	Mixte	Non fossile			
	Exploitation des énergies fossiles.	Efficacité énergétique + exploitation de toutes les énergies.	Exploitation des énergies non fossiles.			
	A1FI	A1B	A1T	A2	B2	B1

Source : GIEC, 3e rapport

Explication des quatre scenarii du GIEC

Le scenario "technologies énergétiques" (ou A1) regroupe les scenarii à croissance économique rapide, s'accompagnant d'une faible croissance démographique et d'une introduction rapide de technologies nouvelles et plus efficaces.

On observe une grande convergence des PIB par habitant et une interaction culturelle et sociale croissante. Ils se scindent en 3 sous-groupes en fonction des priorités données au développement des technologies énergétiques. Trois orientations possibles : soit une forte présence de combustibles fossiles (le "tout fossile" ou A1Fl), soit la recherche d'un équilibre entre les diverses sources énergétiques et la promotion de l'efficacité énergétique (le "mixte énergétique" ou A1B), ou bien le développement des technologies énergétiques alternatives (le "non-fossile" ou A1T).

Le "scenario hétérogène" (ou A2) se fonde sur l'hypothèse d'un renforcement des identités et des traditions locales, s'accompagnant d'une démographie plus élevée, ainsi que d'une évolution technologique et d'une croissance économique plus faibles.

Le scenario "convergent" (ou B1) met l'accent sur des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique, sociale et environnementale. Il décrit un monde évoluant rapidement vers des structures économiques dématérialisées, basées sur les services et l'économie de l'information, avec des technologies plus propres et une meilleure équité.

Le scenario "régional" (ou B2) décrit un monde recherchant des solutions à l'échelle régionale aux problèmes économiques et environnementaux, misant ainsi sur un développement durable local.

Source : Réseau action climat France

E – ON MESURE DEJA LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ILS VONT S'ACCENTUER

On peut, bien que de façon non exhaustive, énumérer les principales conséquences déjà constatables du réchauffement climatique tout en gardant dès à présent à l'esprit que les populations ne sont pas égales devant les conséquences du réchauffement.

Il faut également souligner que des incertitudes significatives subsistent, non pas les grandes lignes des conséquences du changement climatique, mais sur les écarts. Mais en tout état de causes ces incertitudes se resserrent de plus en plus, d'un rapport du GIEC à l'autre. Les éléments du prochain rapport, prévu pour le début 2007, ne sont pas encore disponibles, mais il semble d'ores et déjà qu'il ne fera que confirmer la gravité des évolutions en cours.

Le niveau moyen de la mer s'est élevé de 10 à 25 centimètres depuis un siècle. Pour l'avenir, en fonction du scenario retenu, moyen ou pessimiste, le niveau de la mer pourrait s'élever de 14 à 80 centimètres d'ici à l'an 2100.

Dans deux articles de la revue *Science* du 24 mars dernier, des chercheurs américains évoquent des perspectives beaucoup plus graves. Selon eux, l'élévation des océans pourrait atteindre plusieurs mètres d'ici à 2100, du fait d'une fonte plus importante que prévu des glaces du Groenland et de l'Antarctique.

50% de l'humanité vit à moins de quelques dizaines de kilomètres des côtes. Les inondations dues aux marées de tempête touchent déjà, lors d'une année moyenne, quelque 46 millions de personnes, la plupart vivant dans des pays en développement. Si la mer montait de 50 cm, ce chiffre pourrait passer à 92 millions et à 118 millions, si l'on se base sur l'hypothèse selon laquelle le niveau des océans monterait d'un mètre.

Le processus possède une inertie considérable : il faut plusieurs milliers d'années au moins avant que l'océan ne se stabilise à la suite d'une élévation de la température moyenne de l'atmosphère. Le niveau des océans va donc continuer à s'élever pendant les siècles à venir, et d'autant plus que l'élévation de température sera forte.

Toutes les glaces terrestres et marines connaissent un recul.

L'ensemble des études réalisées montre que les glaciers reculent dans le monde entier.

Selon certaines données, le réchauffement climatique serait amplifié par l'altitude. Ainsi, dans la Cordillère américaine par exemple, le réchauffement attendu à 4 000 mètres sera le double de celui attendu à 1 000 mètres.

Ce recul des glaciers risque d'être lourd de conséquences sur la ressource en eau dans certaines régions. Ainsi par exemple, dans les Andes, La Paz, à 3 800 mètres d'altitude, est alimentée en totalité par les glaciers pendant la saison sèche. Si le glacier Zongo disparaissait, son effet régulateur, qui consiste à capter l'eau pendant la saison pluvieuse de novembre à mars et à la redistribuer pendant la saison sèche de mai à août, disparaîtrait aussi et il n'y aurait plus d'eau disponible pendant la saison sèche. Or, dans les Andes, les précipitations tombent pour l'essentiel sur le versant Est, et très peu sur le versant Ouest où se trouvent beaucoup de grandes villes, comme Lima, La Paz ou Quito, tributaires des glaciers pour leur approvisionnement en eau et en électricité, sans oublier l'irrigation des surfaces agricoles. Les scientifiques prévoient que ces glaciers auront perdu la moitié de leur surface d'ici vingt ans. A brève échéance, 40 millions d'habitants sont concernés par ce problème en Amérique du Sud, et un sixième de la population du monde entier.

Les images figurant page suivante montrent le glacier d'Argentière, au-dessus de Chamonix, en 1864, 1896 et 1995 : il a reculé, depuis 1864, de 1,4 kilomètre.



1864



1896



1995

Par ailleurs, la fonte des glaciers est source de risques pour les populations. Elle occasionne en effet la création de lacs susceptibles, en cédant, de déverser des torrents de boue balayant tout sur leur passage. Les Péruviens sont accoutumés à ce phénomène pour avoir eu à déplorer, dans la vallée du Rio Santa, 10 000 victimes depuis 1725. Dans la chaîne de l'Himalaya, il existe ainsi une cinquantaine de lacs potentiellement dangereux dont un seul est surveillé et régulièrement vidangé. Une catastrophe majeure y est donc très probable d'ici cinq ou dix ans.

Le réchauffement provoque une réduction importante des chutes de neige. Ainsi des modèles montrent, qu'avec 4,5 degrés de plus, le manteau neigeux disparaîtrait presque complètement au col de Porte[1], col majeur de la trilogie de la Chartreuse (2 082 m d'altitude). L'étude a été étendue à d'autres sites, en retenant l'hypothèse d'un simple réchauffement de 1,8 degré : la durée d'enneigement à 1 500 mètres se trouve réduite, en France, de 40 jours environ, quel que soit le massif, et la hauteur maximale de neige de 30 à 40 centimètres, aussi bien dans le Chablais, où la valeur de référence est de 1,7 mètre, que dans les Alpes de Haute-Provence, où elle atteint à peine un mètre. Quant à la durée d'enneigement à 3 000 mètres, elle passe, dans les mêmes conditions, de 300 jours à 270 dans les Alpes du Nord, et diminue de 30 à 40 jours également dans les Alpes du Sud. Dans ces conditions, l'existence de l'industrie du sport d'hiver de moyenne montagne se voit remise en cause. La diminution de l'enneigement, contribuera elle aussi à une modification du régime hydraulique en réduisant l'alimentation des cours d'eau.

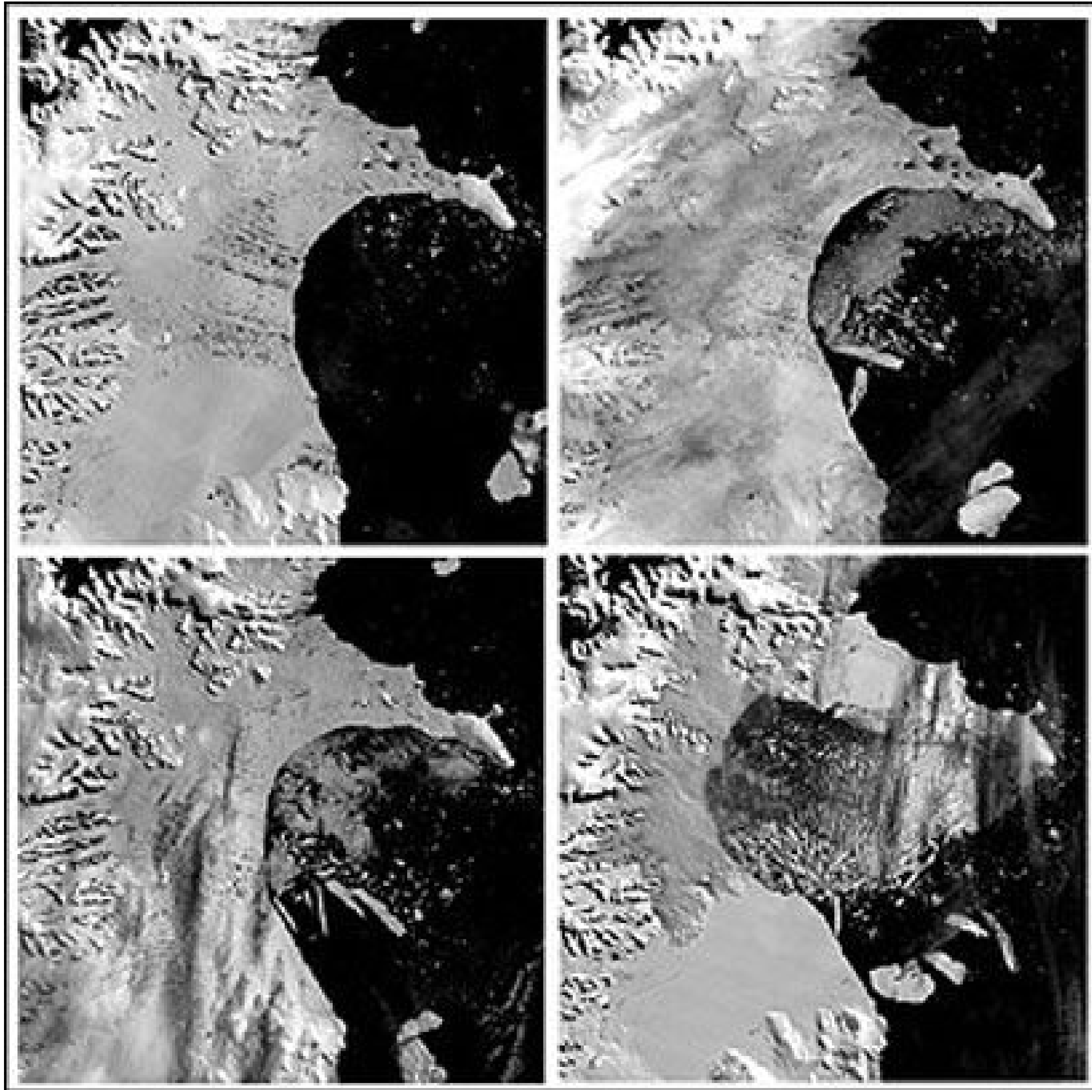
Tout aussi alarmante est la situation des glaces de mer. Le fonctionnement de la machine climatique est garanti par l'équilibre existant entre l'extrême chaleur équatoriale et le froid des deux régions polaires. Au Sud, le froid est assuré par la présence de l'Antarctique, étendue d'eau douce gelée de 2,5 kilomètres d'épaisseur et grande comme vingt-huit fois la France, au Nord par une banquise dont l'épaisseur moyenne est de 2,70 mètres. Une étude, récemment parue dans la revue *Science*, montre que la fonte annuelle de la calotte glaciaire groenlandaise est passée, entre 1996 et 2000, de 90 à 220 km². Le phénomène s'entretient de lui-même puisque, les surfaces d'eau ainsi libérées, plus sombres que la glace, absorbent le rayonnement solaire dont la chaleur augmente en retour la fonte de la glace. Les habitants de ces régions, qui sont des peuples de chasseurs, subissent ces phénomènes. Au Groenland, la glace est devenue incertaine au point d'être parfois infréquentable. Dans les zones où l'on assiste au

---

[1] *Le col de Porte a été retenu pour les « séries longues » de mesures dont il a fait l'objet.*

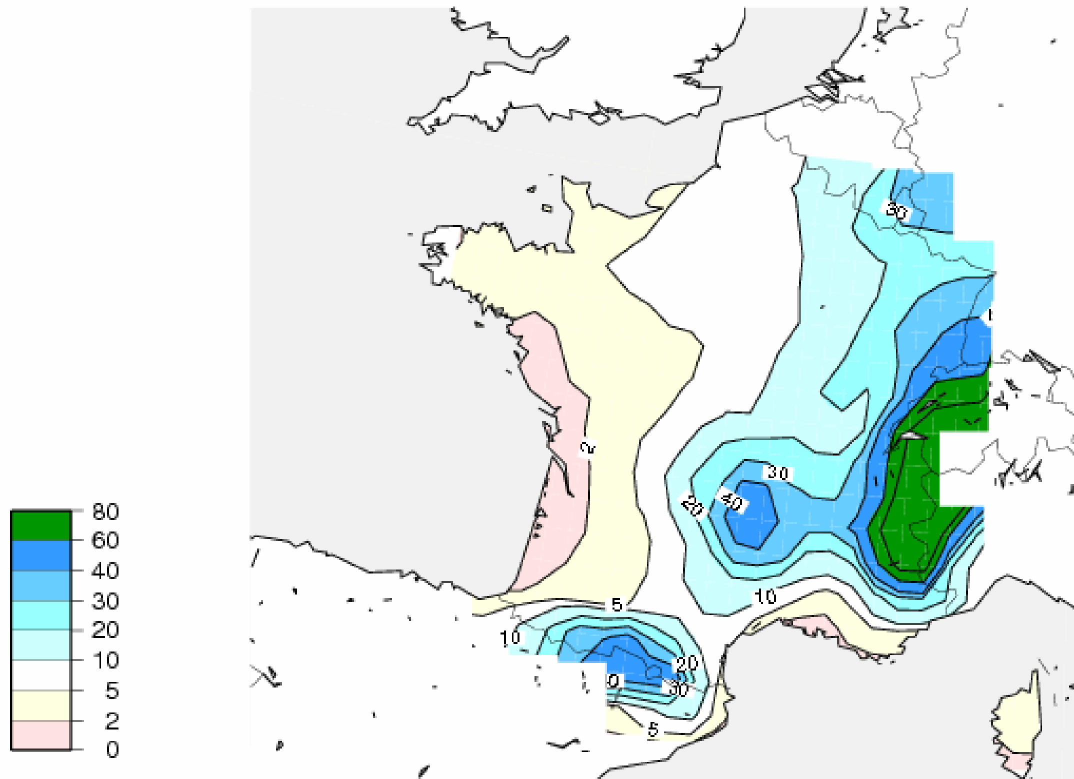
réchauffement du pergélisol, les routes deviennent impraticables et les bâtiments s'affaissent.

En février 2002, la plateforme glaciaire Larsen-B en Antarctique s'est effondrée d'un coup sur une surface de 3 250 km^2, soit une surface plus grande que celle du Luxembourg.

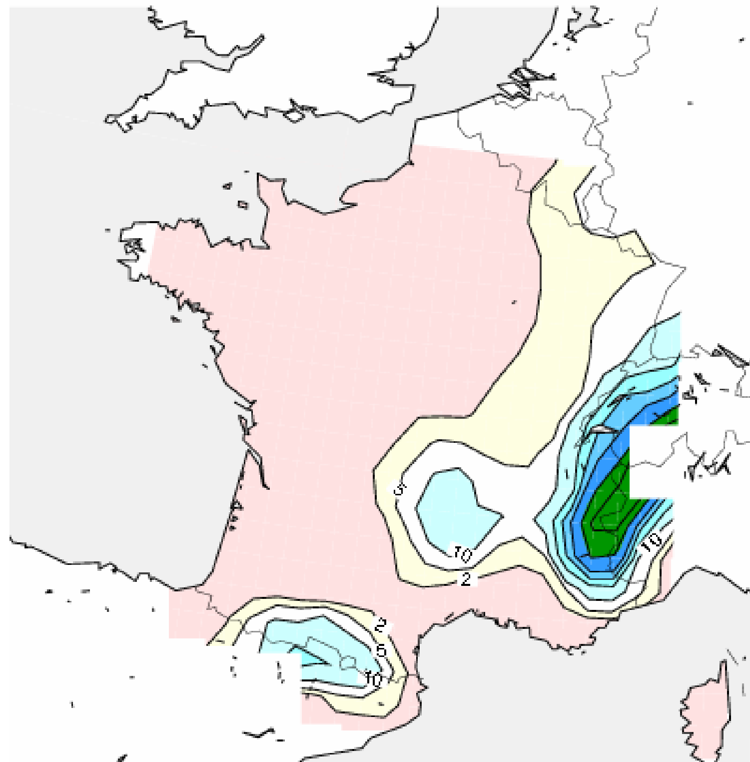


Source : Snow and ice data center

FRANCE : EVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS AVEC NEIGE



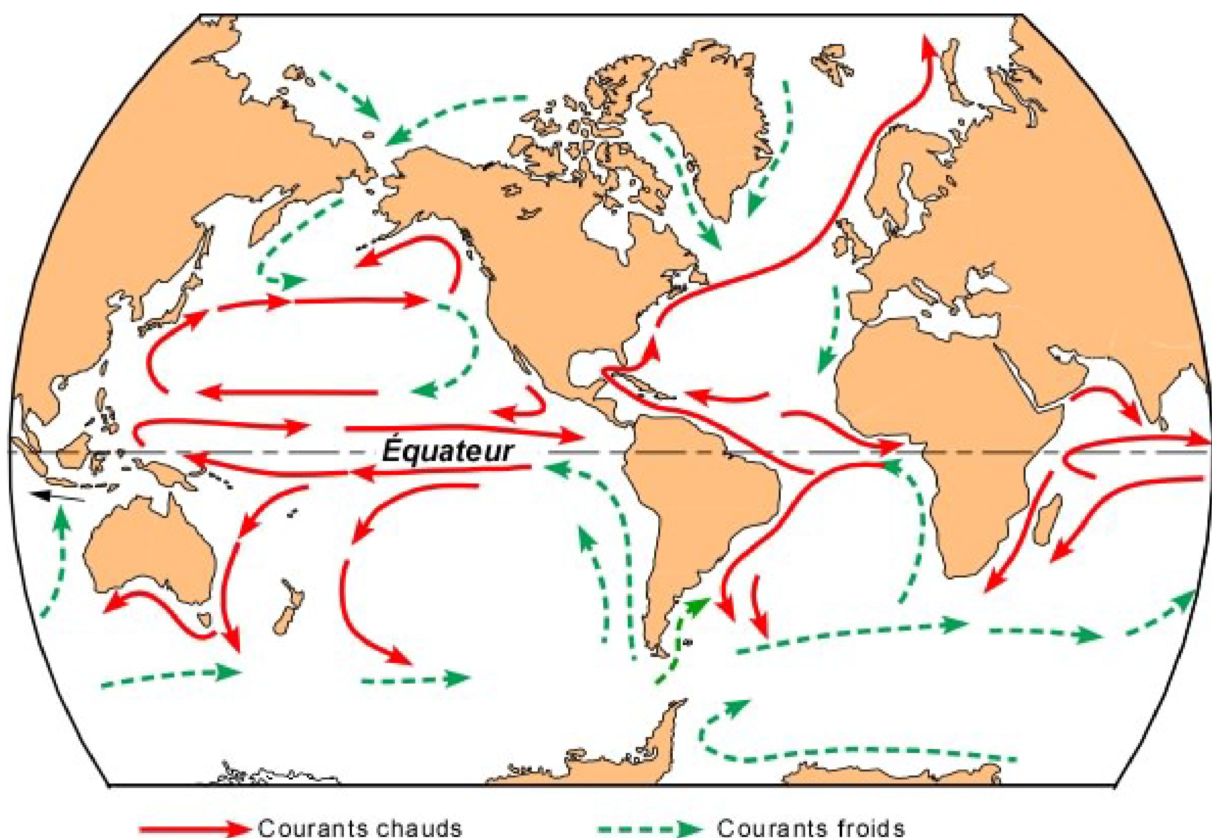
Climat actuel



Climat de la fin du XXI^e^ siècle : ***Source : Eric Brun, Météo-France***

Les courants marins sont, eux aussi, concernés par les évolutions climatiques. Ces courants vont des profondeurs des océans vers la surface puis replongent vers les profondeurs. Ils sont fondés sur des différences de température (l'eau froide étant plus dense que l'eau chaude) et de salinité (l'eau salée est plus dense que l'eau douce) entre les différentes couches de l'océan. Les plus profonds sont les courants thermohalins, ceux qui circulent plus en surface constituent la circulation thermocline. Ainsi, le Gulf Stream (thermocline) est un courant qui évacue une partie de la chaleur du Golfe du Mexique vers l'Atlantique Nord. Associé aux courants atmosphériques atlantiques, il contribue au réchauffement de la zone, tempérant ainsi les rigueurs de l'hiver. La fonte des blocs de glace qui se détachent de l'Atlantique Nord, comme l'augmentation attendue des précipitations dans les hautes altitudes (notamment dans le Nord de l'Europe et du Canada), refroidissent les océans et diminuent le taux de sel. Cela modifie la circulation des courants marins. Moins salée, l'eau perd en densité, elle tend alors à demeurer en surface et à être moins remplacée par les eaux tièdes provenant du Golfe du Mexique. Le cycle se trouve ainsi perturbé et des études récentes indiquent que le débit du Gulf Stream a diminué de 30% au cours des cinquante dernières années, que sa circulation a ralenti et que son cours se détourne.

Circulation des courants marins



Source : www.courantmarin.fr.st - Accueil

Une attitude « cynique » consisterait à penser que cette disparition à terme du Gulf Steam compenserait, en Europe occidentale, le réchauffement climatique. Si cette disparition devait refroidir l'Atlantique Nord Est, elle ne manquerait pas de surchauffer les zones situées plus au Sud. Les courants marins constituent un élément d'un système climatique très complexe et leur modification aurait des conséquences encore peu prévisibles, ce que les scientifiques appellent une « *surprise climatique* ».

Le renforcement climatique renforce-t-il l'occurrence et l'intensité des tempêtes ?

Les climatologues entendus par la mission d'information ont indiqué que les modèles utilisés ne permettaient pas à ce stade d'affirmer que le réchauffement climatique aurait pour conséquence une augmentation du nombre des tempêtes et ouragans.

En revanche, il est prouvé que leur violence est accrue. Ainsi le phénomène El Nino, qui naît dans le Pacifique tropical, se nourrit de la chaleur accumulée par les eaux. Plus cette chaleur augmente, plus le phénomène est violent et, partant, dévastateur. Les épisodes de 1982-1983 et 1997-1998 (plusieurs milliers de morts et des milliards d'euros de dégâts) coïncident avec le réchauffement climatique récent. Dans une récente étude, publiée par la revue *Science* le 17 mars dernier, des chercheurs du Georgia Institute of Technology estiment que la hausse du nombre de cyclones violents est liée à l'augmentation de la température de surface des océans dans la zone tropicale.

Les assureurs et réassureurs entendus par la Mission estiment, qu'à l'avenir, le plus gros des coûts sera lié aux phénomènes climatiques extrêmes (canicules, sécheresse, inondations, tempêtes, etc.) provenant de l'instabilité climatique créée par le réchauffement.

Par ailleurs, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) a indiqué, lors de la récente Conférence de Montréal, que l'année 2005 avait battu une série de records climatiques et que le coût des catastrophes naturelles d'origine climatique n'a jamais été aussi élevé.

M. Jean-Louis Marsaud, directeur du Comité européen des assurances, a indiqué à la mission que 650 événements naturels se sont produits en 2004, 700 en 2003. Les études montrent que, pour les dix prochaines années, le nombre de ces événements est estimé à 800 par an au minimum. Cette évolution se traduit par un accroissement considérable des pertes économiques, puisqu'on estime qu'elles

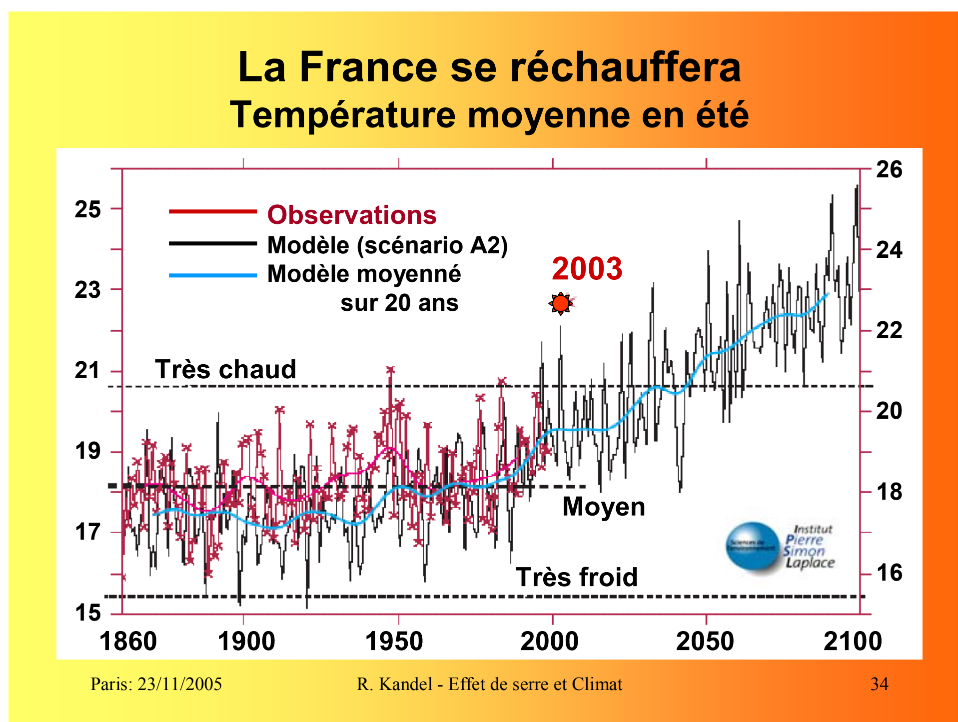
pourraient passer, dans les dix prochaines années, à 125 milliards d'euros, les pertes assurées représentant entre 35 et 40 milliards d'euros par an.

D'ici à 2080, une étude menée au niveau européen montre que des tempêtes extrêmes du type de celle de 1999 pourraient augmenter les coûts de 5%, de 25 à 30 milliards d'euros. Le coût des inondations pourrait être accru de plus de 100 milliards d'euros. Le coût pour les assureurs a été de 15 milliards d'euros en 2003, et de 44 milliards en 2004.

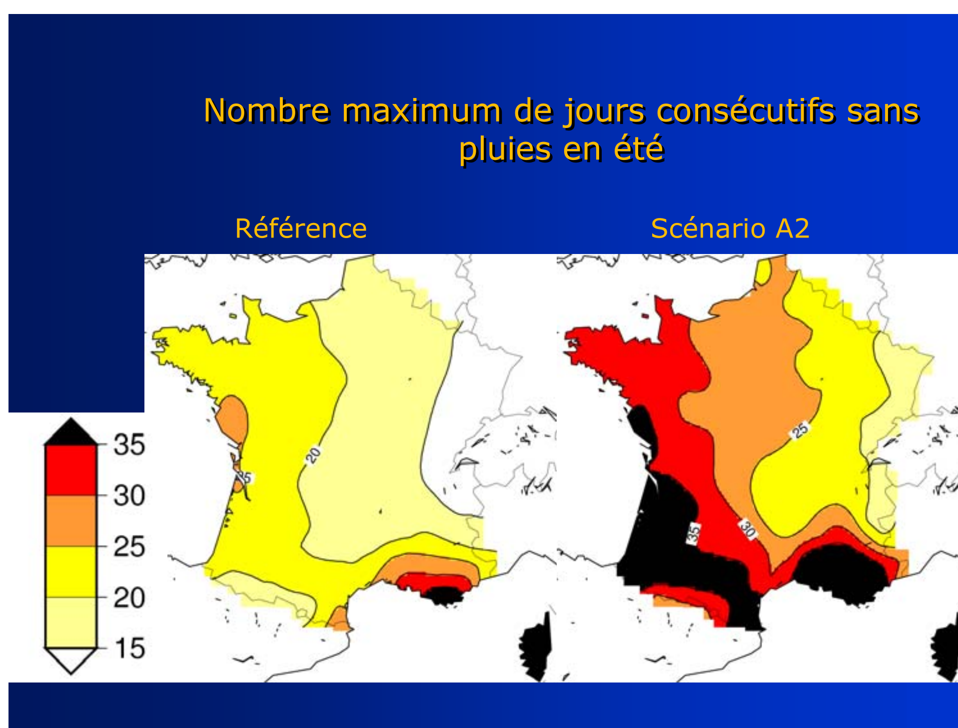
Il est important de souligner que la quasi-totalité des branches d'assurance sont concernées. L'assurance des biens l'est au premier chef, mais le phénomène touche aussi bien les assurances santé, les assurances de personnes en général, les assurances de risques agricoles, l'assurance construction, les risques professionnels, les pertes d'exploitation, l'assurance transport, et même l'assurance automobile ou la responsabilité civile générale, puisque demain, la responsabilité de certaines entreprises sera peut-être mise en cause parce qu'elles n'auront pas pris toutes les mesures adéquates pour limiter l'effet de leurs activités sur le climat.

L'évolution du régime des précipitations liée au changement climatique conduira, par ailleurs, à une amplification des manques et excès déjà existants : les zones arides auront tendance à s'assécher, notamment le bassin méditerranéen, alors que les régions bien arrosées recevront plus d'eau *via* des pluies plus intenses. L'Europe risque de connaître des sécheresses sévères, comme le Moyen-Orient, l'Est et le Sud des Etats-Unis ainsi que l'Afrique australe. La ressource en eau sera cause de tensions accrues, notamment au sujet de la répartition de son usage entre, eau potable, agriculture, usage de « confort » et production hydroélectrique.

Le réchauffement en cours conduira ainsi à des étés beaucoup chauds et plus secs en France. La canicule de 2003 deviendra la moyenne à la fin du siècle comme l'indique le diagramme ci-après, qui montre que l'été 2003 correspondra, à la fin du siècle, à un été moyen.



Par ailleurs la carte ci-après montre que le nombre de jours consécutifs sans pluie en été devrait très sensiblement s'accroître d'ici la fin du siècle.



Source : Eric Brun, Météo-France

<u>S'agissant du régime des eaux en France</u>, l'impact du changement risque d'être important, même si on manque encore, dans ce domaine comme dans les autres, de données régionales, et par bassins.

Ainsi, d'après Pierre Chevalier, de l'Institut de Recherche pour le développement, et de l'Institut Languedocien de recherche sur l'eau et l'environnement (rapport « *Impact* » , publié par Greenpeace en novembre 2005) : « *L'impact du changement climatique sur la ressource en eau ne peut pas être facilement isolé, de celui des autres changements affectant le milieu continental, en particulier ceux liés aux activités humaines, sauf dans quelques cas comme celui – spectaculaire et durable – du recul des glaciers et de la diminution de la couverture neigeuse. Le changement climatique joue un rôle significatif sur la disponibilité de la ressource en eau. Il faut toutefois rester prudent dans les projections futures, cette disponibilité étant largement dépendante de l'état du milieu récepteur pour lequel on ne peut formuler que des hypothèses. Les modélisations récentes sur les trois grands bassins français (Rhône, Seine et Adour-Garonne) indiquent une tendance à un affaiblissement des débits d'étiages estivaux à l'horizon 2100 sous les hypothèses du GIEC. Les résultats obtenus sur la période hivernale ne sont pas significatifs. A l'échelle locale et sur des durées courtes (de la journée au mois), les augmentations, mêmes modestes, attendues sur la fréquence et l'intensité de certains événements climatiques (précipitations, températures) peuvent voir leurs impacts sur la ressource en eau significativement amplifiés lorsqu'elles sont combinées à des situations locales particulières : crue rapide, inondation, sécheresse, pollution, etc.* ».

La biodiversité est gravement menacée, globalement, par le réchauffement. Le professeur Robert Barbault, du Muséum, indiquait lors de son audition par la Mission que même « *si les approches sont fragmentaires, la documentation est importante et des études quantitatives à base de modélisation se sont développées depuis quelques années afin de relier les données sur le changement climatique à la dynamique de la biodiversité. L'article le plus célèbre est celui publié en 2004 dans « Nature » par Chris Thomas : à partir de trois scénarios climatiques, il prévoyait des taux d'extinction de très grande ampleur d'ici à 2050 ».*

En effet, de l'Equateur à l'Arctique, les maillons de la vie apparaissent perturbés. L'augmentation de température d'un degré de l'océan (et des îles) aux tropiques constitue un trouble capital, comparable aux grandes évolutions climatiques passées. Pour n'évoquer que l'hémisphère nord : dans les océans, des migrations vers le nord, que ce soit dans le Pacifique ou l'Atlantique ; des propagations vers le nord d'agent infectieux ; des migrations également vers le nord de certaines faunes et espèces végétales. On note également des perturbations des cycles de végétations. Le maillon supérieur de la faune arctique souffre particulièrement de la fonte précoce de la banquise, les ours polaires en particulier. Dans un autre domaine, des oiseaux migrateurs ont changé leur destination ou ont purement et simplement cessé de migrer.

M. Jean Philippe Palasi, de l'Union mondiale pour la nature (UICN) a donné à la mission d'information l'exemple suivant : *« Il faut évoquer la situation de cul-de-sac dans laquelle se retrouveraient les espèces inféodées à un lieu particulier, à l'instar du crapaud doré de Monteverde, joyau d'un parc national du Costa Rica, qui a totalement disparu en deux ans. Il occupait autrefois toute la plaine forestière alentour et s'est replié sur la colline au fur et à mesure que le climat se réchauffait, jusqu'au jour où il n'a pu monter plus haut. Le réchauffement climatique d'origine anthropique intervenant alors que la planète est déjà dans une phase relativement chaude de son cycle naturel, nombre d'espèces endémiques risquent de se retrouver dans une situation de cul-de-sac comparable ».*

Il a ajouté : « *Le changement climatique fait peser un risque de destruction d'espèces massive : dans l'hypothèse la plus négative du rapport de Chris Thomas, un million d'espèces disparaîtraient de la planète d'ici à 2050. Je signale que les évaluations du nombre d'espèces existant aujourd'hui dans le monde oscillent d'un peu plus de 10 millions à 100 millions, cette grande marge d'incertitude étant notamment liée à la faible connaissance des organismes du milieu marin».*

M. Jean-Louis Etienne a quant à lui indiqué lors de son audition par la Mission que « *sur le plan biologique, certaines espèces qui dépendent de la banquise sont extrêmement menacées. Il en est ainsi de l'ours, qui se nourrit à 80% de phoques, mais qui n'est pas un bon nageur. La faune est aussi affectée par la migration vers le nord d'espèces qui n'y vivaient pas auparavant ; par exemple le renard roux fait reculer le renard blanc. »*

LA DIVERSITE GENETIQUE

Elle concerne des populations distinctes de la même espèce. Longtemps, son évaluation s'est restreinte aux espèces domestiquées et à certaines espèces étudiées en particulier.

LA DIVERSITE SPECIFIQUE

Elle se rapporte à la fois au nombre d'espèces dans une région : la " richesse " spécifique et aux relations mutuelles entre espèces : la diversité " taxinomique ". Prenons un exemple. Le nombre d'espèces terrestres est supérieur au nombre d'espèces marines, mais elles sont plus étroitement apparentées dans le milieu terrestre. Il en résulte que la diversité dans les écosystèmes est plus importante.

LA DIVERSITE ECOSYSTEMIQUE

Elle met en relation les diversités constitutives -génétiques et spécifiques- et la diversité structurelle et fonctionnelle des écosystèmes (abondance relative des espèces, structure des populations en classes d'âges, processus biologiques comme la prédation, le parasitisme, le mutualisme,etc.).

EN QUOI LA BIODIVERSITE EST-ELLE VRAIMENT UTILE A L'HOMME ?

C'est à partir des composants sauvages et domestiqués de la biodiversité que l'homme crée et enrichit la gamme de ses aliments, produits pharmaceutiques et industriels.

Prenons l'exemple des médicaments. Leur élaboration dépend en grande partie de substances animales et végétales. Et cet attachement à utiliser les ressources naturelles pour leur développement ne fait que s'accroître : l'Organisation mondiale de la santé encourage aujourd'hui les médecines traditionnelles, y compris dans les pays industrialisés.

La biodiversité revêt une importance esthétique et originale, mise en évidence par les loisirs et le tourisme vert.

Une très grande valeur est accordée à la diversité génétique dans le domaine agricole. Cette diversité constitue une arme dans la lutte évolutive permanente entre les espèces cultivées et les animaux domestiques d'une part, les ravageurs et maladies qui les menacent d'autre part. Cette diversité est exploitable grâce aux croisements et au génie génétique. Son maintien au sein des populations permet de réagir aux changements des conditions de l'environnement.

EN QUOI LA BIODIVERSITE EST-ELLE UN SUPPORT A LA VIE ?

La diversité des espèces, des écosystèmes et des habitats influence la productivité et les services rendus par les écosystèmes.

Lorsque l'une des espèces d'un écosystème s'éteint ou apparaît, la capacité de l'écosystème à absorber la pollution, à maintenir la fertilité des sols et des microclimats ou à assainir l'eau se modifie également.

La biodiversité n'est pas réductible à de l'utilitaire. La gestion et la conservation de la biodiversité tiennent aussi d'un respect religieux, moral et culturel.

La plupart des religions enseignent un attachement à la vie, à sa diversité et à sa conservation.

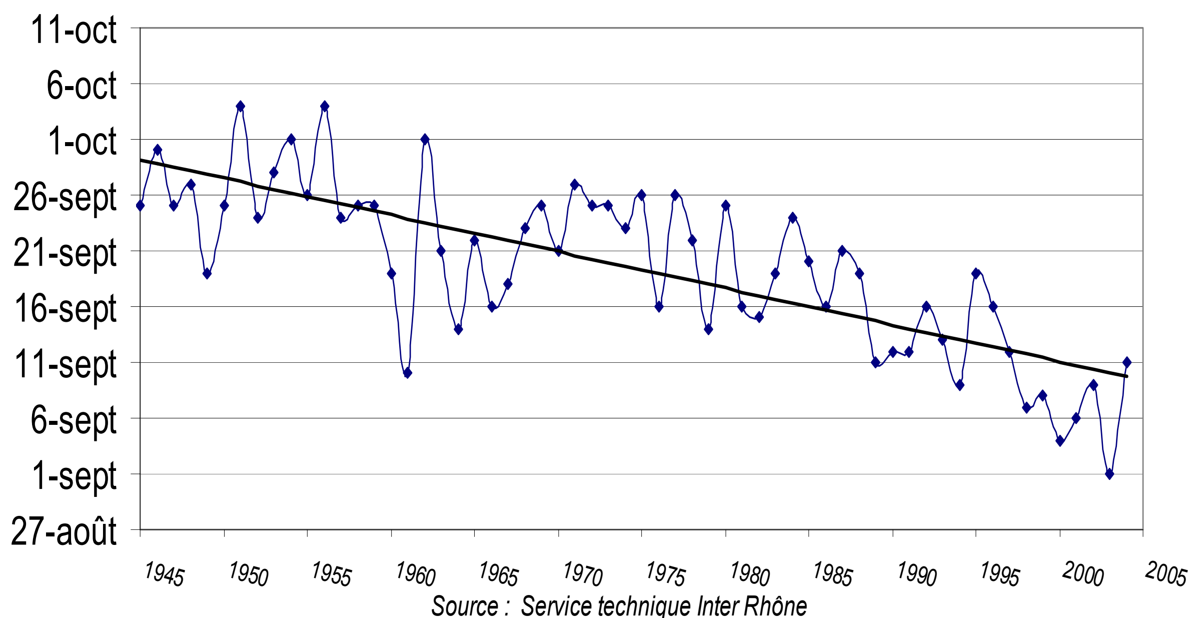
« L'homme a le devoir moral de ne pas éliminer les autres formes de vie. Il doit aussi satisfaire au principe d'équité entre générations : transmettre un héritage conforme à celui qu'il a reçu ».

L'environnement biologique et la multiplicité de ses membres sont à l'origine d'une créativité humaine qui interagit avec son univers ; et ce lien a profondément contribué à l'établissement des valeurs culturelles. D'autre part, « *les écosystèmes naturels et l'ensemble des espèces sont de véritables laboratoires pour comprendre le processus de l'évolution*. » (Extrait de *La biodiversité* de Christian Lévêque. Que sais-je ? PUF, 1997)

Source : INRA

Un degré de réchauffement revient à situer la France géographiquement cent kilomètres plus au Sud. De nombreuses espèces végétales ont déjà commencé une migration vers le Nord et la période des vendanges a été avancée d'un mois. A terme, en 2100, le paysage méditerranéen occupera la moitié du territoire et les chênes traditionnels auront pratiquement disparu au profit des pins. La remontée vers le Nord de parasites aura pour conséquence une réduction du nombre des essences.

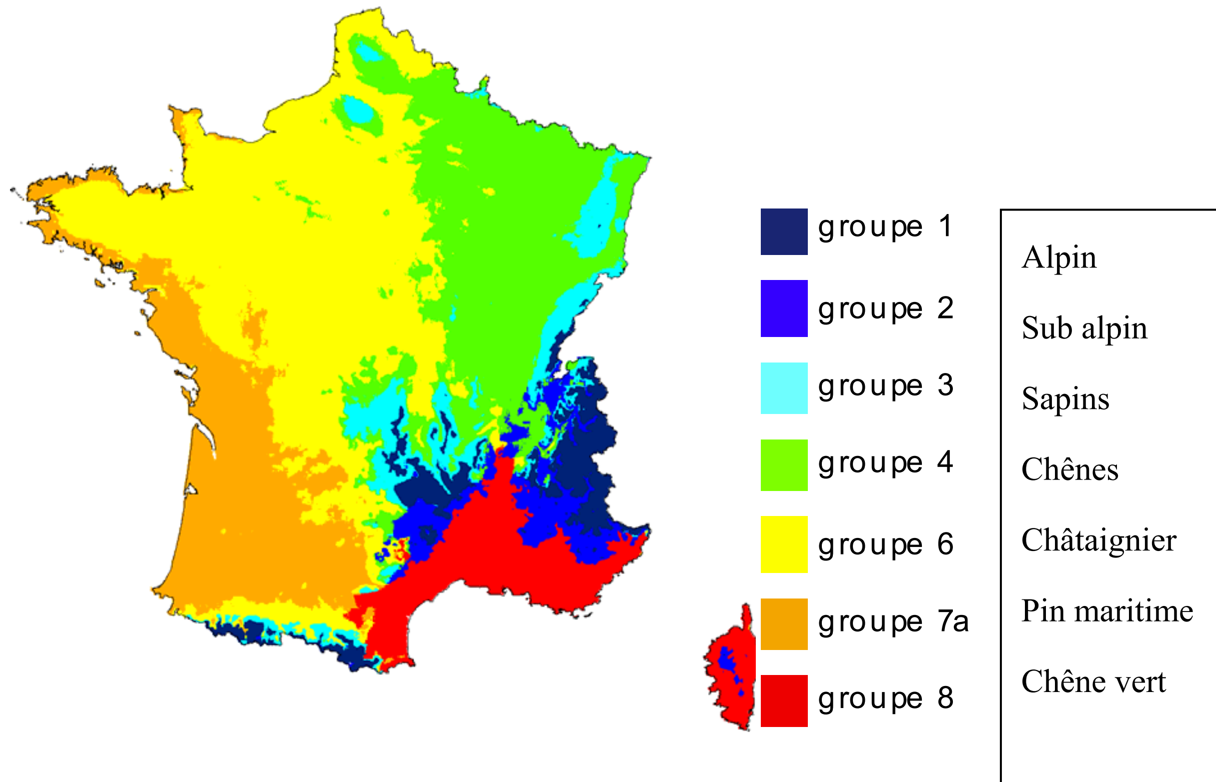
DATE DE DEBUT DES VENDANGES A CHATEAUNEUF DU PAPE depuis 1945



Source : Service technique Inter Rhône

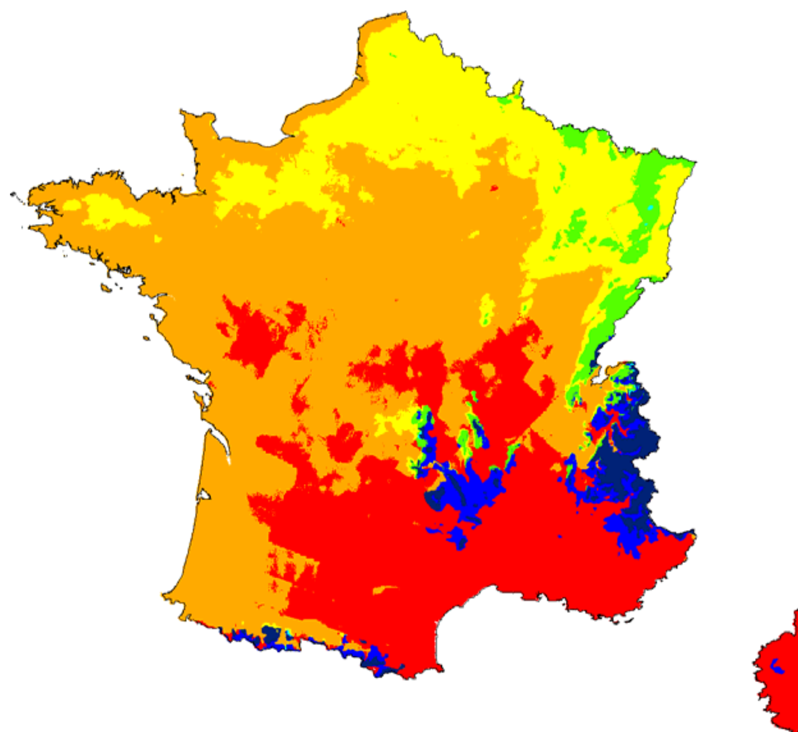
Les conséquences du changement climatique sont déjà perceptibles sur les forêts françaises. M. Pierre Olivier Drège, directeur général de l'ONF, a ainsi indiqué à la Mission que « *certains peuplements dépérissent, plutôt dans les forêts privées où des essences ont été plantées en dehors de leurs stations les plus performantes : c'est le cas des épicéas dans les premiers plateaux du Jura. Nous assistons aussi, sur les terrains les plus pauvres et les plus filtrants de la grande forêt ligérienne, à des dépérissements de chênes inexpliqués. Nous réagissons en essayant de faire évoluer les essences pour adapter les peuplements aux stations : ainsi, dans la forêt normande de Lyons, la baisse des précipitations nous conduit, au fil des régénérations, à faire évoluer les hêtraies vers des chêtraies.* ». Les cartes ci-après sont une prévision des migrations des peuplements vers le nord.

EVOLUTION DE LA VEGETATION
CLIMAT 1980



CLIMAT 2100

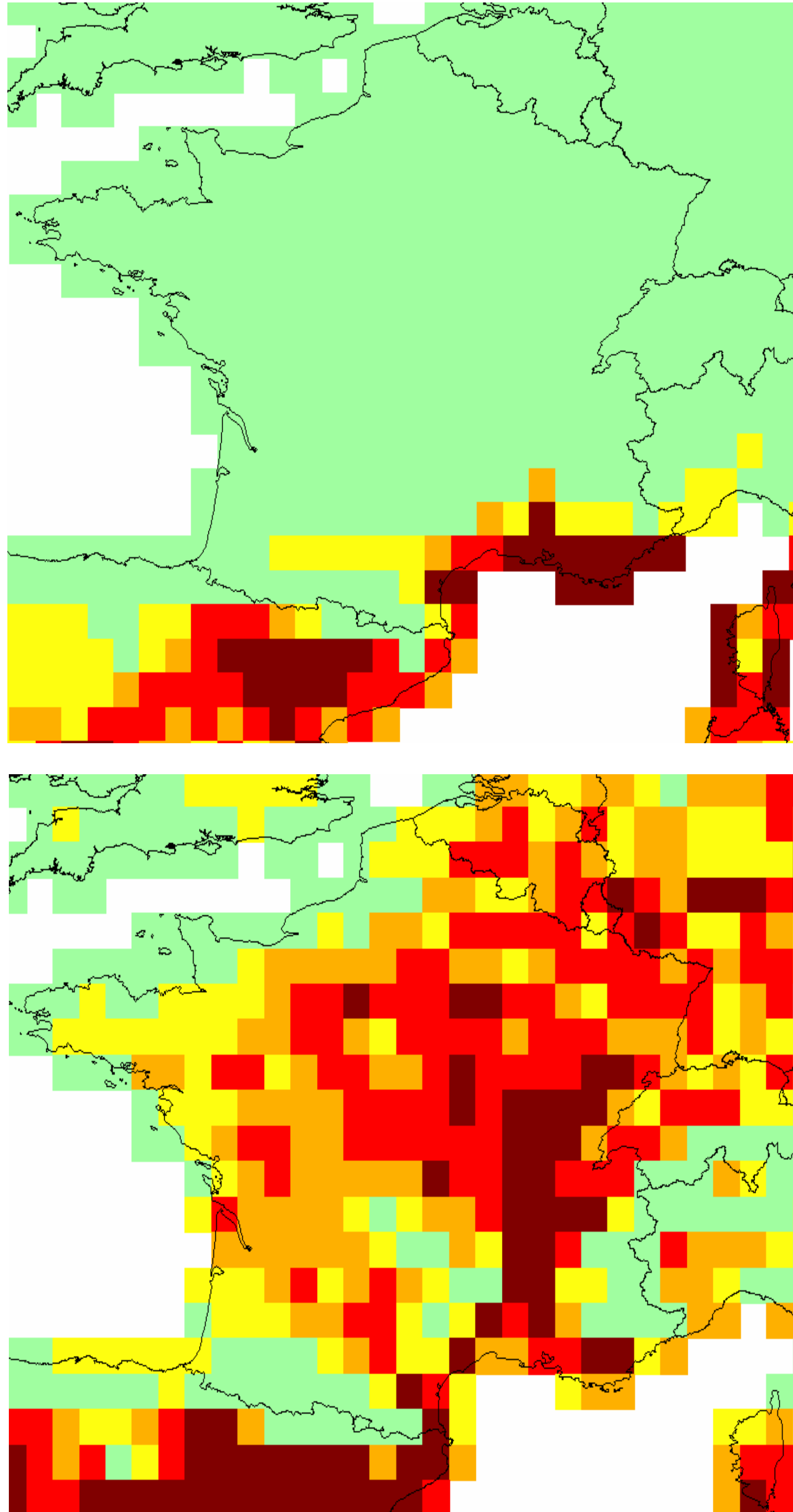
Très forte régression des groupes « chênes » et alpin
Migration au Nord du groupe tempéré atlantique
Extension du groupe méditerranéen à tout le Sud de la France



Source : DIACT

Le risque d'incendie de forêt a tendance à s'accroître comme l'a montré, par exemple l'été 2003 pour la France ou l'été 2005 pour le Portugal, et comme l'indiquent les cartes ci-après.

La carte du haut montre un indice de risque de feux de forêts calculé pour la journée du 13 août 2004, La carte du bas montre ce même indice calculé pour le 13 août 2003, situation considérée comme commune à fin du siècle prochain.



Indices de risques de feux de forêt (13 août 2004 et 2003) Calcul EC/JRC *(Inforest Action)*

Dans le domaine de la santé, en France, les risques sont ceux d'une mortalité accrue au cours des périodes estivales (15 000 morts en France au cours de l'été 2003) ainsi que d'une élévation du taux de prématurité entraînant une hausse de la mortalité infantile. Beaucoup d'incertitudes demeurent sur le risque de réapparition d'épidémies dues aux migrations de leurs divers vecteurs, telles la montée vers le nord d'insectes et de parasites toxiques pour la végétation, les animaux et l'homme.

Le Professeur François Rodhain, de l'Institut Pasteur, entendu par la Mission au cours de la table ronde sur les effets sanitaires du changement climatique, donnait les indications suivantes : *« Existe-t-il des exemples de conséquences du changement climatique ? Nous avons au moins des soupçons sur des maladies en expansion : il est possible que l'apparition de la leishmaniose dans le nord de l'Italie ou en Allemagne soit imputable au changement climatique. Le risque porte aussi sur les maladies animales transmissibles. En règle générale, des effets sur les maladies infectieuses se manifesteront certainement mais progressivement, durablement, en profondeur, plutôt que par les épidémies massives parfois annoncées et sur les franges altitudinales ou latitudinales des zones endémiques actuelles ».*

II – DE L'INERTIE A L'EMBALLEMENT : LES SCENARII NE PREVOIENT PAS TOUT

Les scenarii développés par le GIEC pour l'élaboration du rapport « Bilan 2001 des changements climatiques » sont fondés sur des modèles qui ne peuvent prendre précisément en compte des centaines d'éléments : ainsi, les conséquences exactes de l'évolution globale de la calotte glaciaire, l'influence de l'hydrologie sur le système climatique ou les rétroactions positives restent à expliciter. Il s'ensuit une possible sous-estimation des risques critiques eux-mêmes et, de plus, une incertitude sur les délais dans lesquels ils sont susceptibles de se produire.

A – LES SCENARII SONT LINEAIRES ET NE DONNENT QUE DES MOYENNES

Il convient de distinguer (cf. p.36) les modèles des scenarii : les premiers sont d'abord utiles aux scientifiques alors que les seconds, qui dérivent des premiers, ont une vocation plus didactique à l'intention du grand public et des décideurs. Par ailleurs, l'élaboration d'un scenario peut être l'occasion de faire appel à des données issues de plusieurs modèles.

Ainsi, dans le rapport « Impact », publié par Greenpeace au mois de novembre 2005, peut-on lire le propos suivant, dû à M. Serge Planton (Météo France, CNRM) et Mme Pascale Braconnot (Institut Pierre Simon Laplace, Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement) :

Dans le cadre de la préparation du prochain rapport du GIEC à paraître en 2007 et de la demande de la Mission interministérielle sur l'effet de serre avec le soutien des organismes de recherche (CNRS, CEA, Météo-France), la communauté climatique française vient de réaliser un exercice de simulation du climat sans précédent. Cet exercice de simulation du climat est aussi inédit au niveau international. Pour l'élaboration du précédent rapport (2001), seuls huit groupes de modélisation avaient pu réaliser les simulations de scenarii de changement climatique recommandées, et seulement deux scenarii d'émissions pour le futur avaient été analysés à partir de l'ensemble des modèles (scenarii A2 et B2). L'exercice actuel rassemble les résultats de quatorze groupes de modélisation, dont l'IPSL et le CNRM, et l'ensemble des simulations de scenarii climatiques à réaliser a été largement étendu. Ces simulations, recommandées par le GIEC, s'appuient sur des scenarii d'émission des gaz à effet de serre et de particules (aérosols) liés aux activités humaines qui couvrent l'ensemble des XX^e^ et XXI^e^ siècles. Les scenarii pour le futur comprennent aussi, pour la première fois, des scenarii de stabilisation des concentrations qui, pour certains, préfigurent l'impact de mesures de réduction des émissions faisant suite au protocole de Kyoto. Les premiers résultats obtenus avec l'ensemble des modèles ayant participé au même exercice suggèrent qu'il est illusoire de s'attendre à une réduction des incertitudes des projections climatiques. Pourtant, globalement, les modèles ont été améliorés depuis le précédent exercice. La complexité du système climatique (banquise, rôle des grands fleuves, etc.) est mieux représentée. La raison de ce paradoxe et de cette incertitude tient à la complexité des différentes rétroactions qui se produisent dans le système climatique et la difficulté de leur représentation dans les modèles. Les deux modèles français ont un comportement satisfaisant vis-à-vis de nombreux critères climatologiques et une sensibilité (augmentation de température pour un scenario donné) légèrement plus forte que la moyenne des autres modèles. Malgré les nombreuses différences concernant la représentation des caractéristiques de la circulation de l'atmosphère et de ses couplages avec la circulation océanique, les surfaces continentales et la glace de mer, les deux modèles simulent un réchauffement planétaire moyen similaire : + 4°C en 2100 pour le scenario le plus pessimiste (scenario A2) et + 2° à 2,5°C en 2100 pour le scenario B1, le plus optimiste en terme d'émissions de gaz à effets de serre. Les résultats des scenarii indiquent que la stabilisation de la concentration du gaz carbonique ne suffit pas à maintenir la température planétaire. Le système climatique continue de se réchauffer d'autant plus fortement que les émissions en gaz à effet de serre sont élevées. Ainsi, les deux modèles français suggèrent une augmentation de température additionnelle

d'environ 0,5°C pour le scenario B1 et de 0,7°C pour le scenario A1B à l'horizon de 2300, après stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre aux valeurs de 2100. A très grande échelle d'espace (tropiques, moyennes et hautes latitudes, continents par rapport aux océans), les deux modèles présentent une répartition très comparable des changements de température ou de précipitations. Cependant, à l'échelle d'une région particulière de la planète (comme l'Atlantique Nord ou les régions de mousson), les différences sont notables. Cela montre l'intérêt d'utiliser plusieurs modèles, dont les comportements sont différents à ces échelles. Une analyse approfondie de l'origine des différences, conduite par un groupe de chercheurs de différents laboratoires (ESCRIME : « Etude des scenarii climatiques réalisés par l'IPSL et du CNRM »), permettra de mieux appréhender la question des incertitudes.

Au demeurant, les diverses tentatives de modélisation d'une rétroaction positive aboutissant à des résultats d'ampleurs très variées, des divergences d'évaluation divisent encore les scientifiques. Des espoirs sont cependant fondés sur les calculs pouvant être opérés par des systèmes informatiques très puissants du type « Earth Simulator », conçu au Japon.

Les scenarii tendent à ne donner que des moyennes.

Par ailleurs, ils sont linéaires alors que, selon M. Hervé Le Treut (laboratoire météorologie dynamique) « *Il faut admettre que nous sommes face à un système très complexe, partiellement chaotique, où on ne pourra jamais tout prévoir* ». Ainsi, s'il comporte des éléments d'inertie, le système climatique n'en produit pas moins des évènements extrêmes, susceptibles d'être très localisés et, dans bien des cas, imprévisibles. Les deux risques majeurs se prêtant peu à la modélisation sont l'accélération soudaine des phénomènes et le risque d'emballement.

A titre d'exemple, l'étude conduite par MM. Eric Rignot (Jet propulsion laboratory) et Pannir Kanagaratnam (Centre de télésurveillance des calottes polaires de l'université du Kansas) sur la fonte des glaces du Groenland montre que celle-ci contribue trois fois plus à la montée du niveau de l'eau que ce que prévoyaient les modèles il y a dix ans. M. Eric Rignot considère que : « *Le Groenland contribuera plus et plus rapidement à la hausse des niveaux des mers que les modèles ne le prédisaient* ». Une des raisons de la faiblesse des estimations passées provient probablement du fait que ces modèles mesuraient mal le rapport existant entre le volume de l'accumulation de glace à l'intérieur du Groenland sous l'effet d'une augmentation prévue des précipitations et la vitesse de libération du glacier.

Les perspectives d'un emballement du réchauffement climatique marquent les limites du programme que René Descartes, en 1637 dans le *Discours de la méthode*, assignait à l'humanité : « *nous rendre comme maîtres et possesseurs de la nature* »[1] .

B – LES RISQUES DE L'EMBALLEMENT

Les risques d'emballement sont principalement au nombre de quatre :

– l'augmentation de la chaleur diminue la capacité d'absorption du carbone par les végétaux ;

– les puits de carbone océaniques et continentaux sont susceptibles de passer du statut de réserve à celui d'émetteur de carbone ;

– la fonte des banquises diminue l'effet d'albédo et le processus s'accélère en se nourrissant de lui-même ;

– le réchauffement du pergélisol conduit à la libération de quantités considérables de gaz méthane ;

Il n'est pas inutile de rappeler ce qu'est le cycle du carbone, gaz qui, au demeurant, n'est pas le seul gaz à effet de serre.

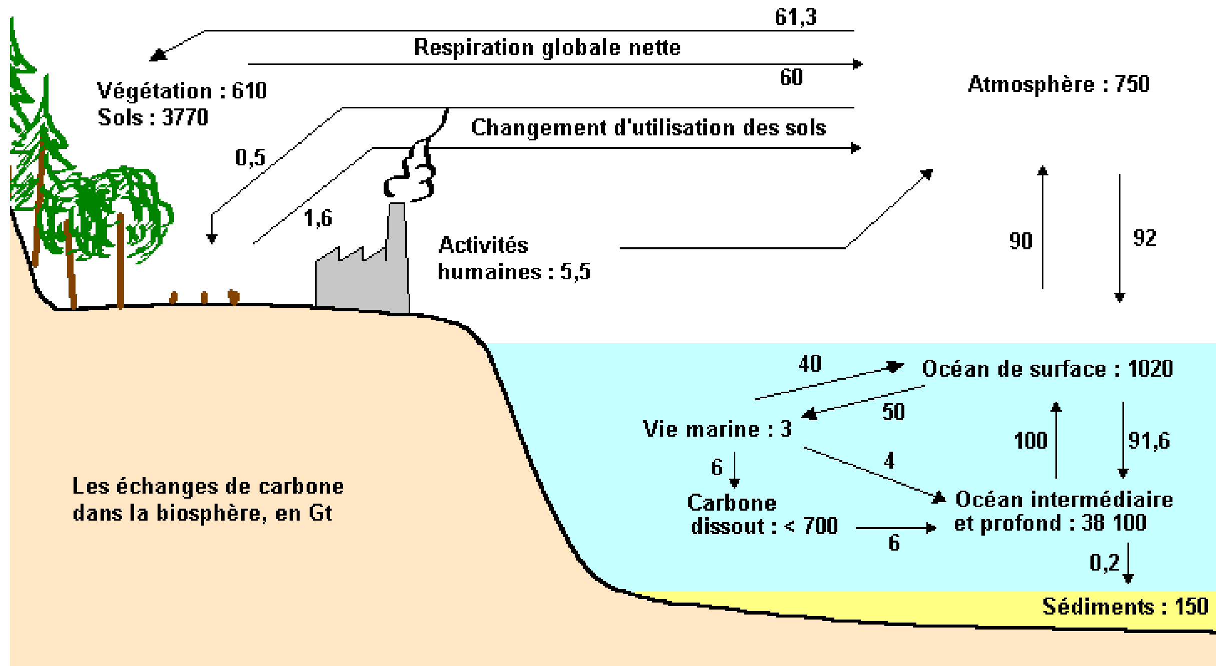
Il y a sur la Terre une quantité finie mais extrêmement importante de carbone. Il est présent dans les océans, les sols, les réserves de carbone fossile, la roche mère, l'atmosphère et la biomasse végétale. On appelle cycle du carbone le déplacement du carbone, sous ses diverses formes, entre la surface de la Terre, son intérieur et l'atmosphère. Les principaux mécanismes de l'échange de carbone sont la photosynthèse, la respiration et l'oxydation. Un transfert a lieu entre les organismes vivants, l'atmosphère, la terre et l'eau. Au cours des millions d'années, le cycle du carbone a concentré de grandes quantités de carbone dans la roche mère, principalement sous forme de calcaire, et dans les combustibles fossiles.

---

1 « *Au lieu de cette philosophie spéculative qu'on enseigne dans les écoles, on en peut trouver une pratique, par laquelle, connaissant la force et les actions du feu, de l'eau, de l'air, des astres, des cieux et de tous les corps qui nous environnent, aussi distinctement que nous connaissons les divers métiers de nos artisans, nous les pourrions employer en même façon à tous les usages auxquels ils sont propres, et ainsi nous rendre comme maîtres et possesseurs de la natur*e ». Discours de la Méthode, VI.

On se représente le cycle du carbone sous forme de quatre réservoirs ou bassins interconnectés : l'atmosphère, la biosphère terrestre (y compris les systèmes dulçaquicoles), les océans et les sédiments (y compris les combustibles fossiles). Le taux d'échange de carbone entre les réservoirs est appelé flux. Ces réservoirs sont soit des sources de carbone soit des puits de carbone. Les puits de carbone absorbent le carbone d'une autre partie du cycle alors que les sources de carbone libèrent du carbone. Par exemple, les plantes vertes absorbent le carbone de l'atmosphère et sont considérées comme un puits de carbone. Une usine qui libère du carbone dans l'atmosphère est considérée comme une source de carbone.

Le graphe ci-après illustre ce processus.



REPARTITION ESTIMEE DE LA RESERVE TOTALE DE CARBONE

Composante	GtC
Océans	38 000
Réserves de carbone fossile	6 000
Sols :	
Carbone organique	1 200
Carbonate de calcium	720
Atmosphère	720
Biomasse végétale	560-835
Total	47 220-47 495

Source : FAO

A ce cycle, l'activité humaine vient ajouter 6 GT de carbone par an par utilisation d'énergies fossiles et 2 GT par an du fait de la déforestation. Dans un premier temps, ce surcroît de rejet de carbone, produit une rétroaction positive puisqu'il fait grossir les puits de carbone océaniques et accélère, du fait de la hausse des températures, la croissance des végétaux. S'agissant de ces derniers, le réchauffement n'est pas profitable bien longtemps puisque l'épisode de canicule qui a traversé l'Europe en 2003, en augmentant chaleur et sécheresse, a bloqué leur croissance. La conséquence a été que les zones concernées, de puits qu'elles étaient, sont devenues des sources de carbone qui ont libéré, au cours de cette période estivale, 0,5 GT de CO_2, l'équivalent de quatre années de stockage de carbone par la zone concernée. C'est encore là l'exemple type d'une rétroaction

positive mais dont les effets sont négatifs. Aussi, faut-il bien entendre dans l'expression « rétroaction positive » que quelque chose va vers le plus mais pas nécessairement vers un bien.

La déforestation, particulièrement dans les zones tropicales, représente un risque considérable, puisque la menace est celle d'un assèchement local susceptible de libérer 400 GT de CO_2[1].

Les puits océaniques, qui absorbent 30% du carbone émis risquent, à leur tour, de se transformer en source de carbone. L'échauffement de l'eau produit une stratification qui se traduit par la disparition des courants verticaux et met un terme à la communication des couches de l'océan entre elles.

Un autre risque d'emballement, dont les conséquences seraient considérables, réside dans la fonte de la banquise. Il s'agit probablement là du phénomène de rétroaction positive le plus simple à appréhender. Les surfaces de glace ou de neige, blanche, produisent un « effet d'albédo ». Ce terme latin, qui signifie « blancheur », a été retenu pour décrire le phénomène de réfraction de l'énergie (solaire en l'occurrence) par une surface donnée. Ainsi, un corps noir possède un albédo nul alors que la neige ou la glace ont un albédo de l'ordre de 80%. A mesure qu'ils se retirent à vitesse accélérée du fait du réchauffement, les glaciers marins libèrent de la surface disponible pour les eaux sombres. Ces eaux ont une capacité d'absorption de la chaleur douze fois plus puissante et, en réchauffant, accroissent la fonte de la glace, libérant par là encore plus de surface liquide sensible au réchauffement.

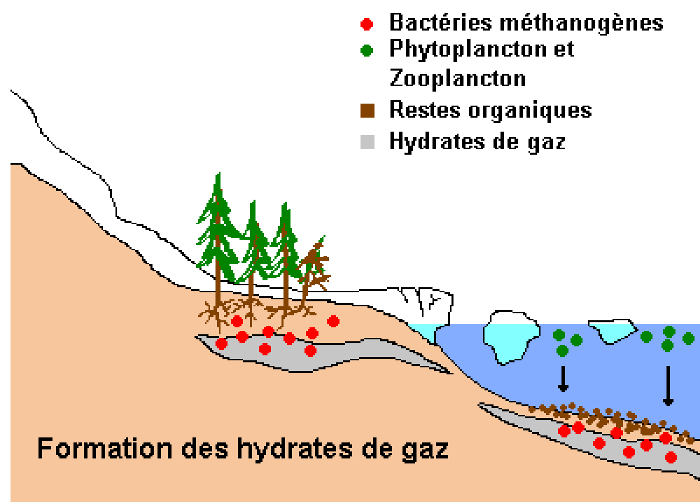
La réduction de l'albédo est donc un phénomène qui se nourrit de lui-même en augmentant ses propres effets. Il n'en va pas autrement du réchauffement climatique dont toutes les interactions positives qu'il déclenche conduisent à des seuils de non-retour à partir desquels la machine climatique emballée ne peut plus être arrêtée.

Il faut enfin évoquer la question du gaz méthane. La contribution du méthane à l'intensification de l'effet de serre représente 20% de celles des gaz à effet de serre de longue durée émis par l'homme. D'après les mesures effectuées, les concentrations ont augmenté d'environ 150% depuis 1750, et il semble que le seuil atteint actuellement n'ait jamais été dépassé au cours des 420 000 années précédentes. Les sources naturelles de méthane sont les sols pour 65% environ et

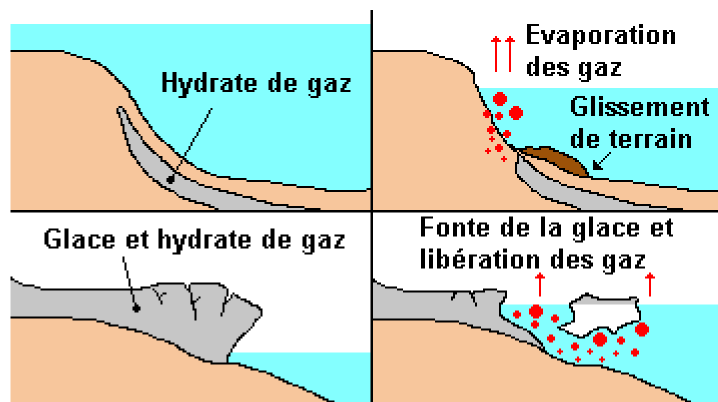
---

1 M. Nicolas Hulot a considéré, devant la mission d'information, qu'en 2050, il n'y aurait plus de forêt humide à la surface du globe.

les océans pour 30%. Les trois principales sources anthropiques de méthane sont l'extraction des carburants fossiles, l'élevage et la culture du riz. Le méthane est un gaz à effet de serre vingt fois plus puissant que le CO_2 qui, à l'instar du charbon, procède de la transformation de déchets organiques.



Le méthane est présent dans les hauts fonds marins et dans les surfaces gelées du sol, appelées pergélisol, qui s'étendent de la Sibérie à l'Alaska et couvrent un tiers de l'hémisphère nord. On estime aujourd'hui que les hydrates de méthane contenus dans les fonds océaniques représentent, en équivalent carbone, deux fois plus que la totalité des gisements de gaz naturel, pétrole et charbon connus. La masse de méthane retenue par le pergélisol est estimée à 400 milliards de tonnes.



D'après M. Jean-Marc Jancovici *« Lorsque l'élévation de température se sera propagée jusqu'à la zone de stabilité des hydrates (il faut quand même de l'ordre du siècle), une partie de ceux-ci pourrait se désagréger, et libérer leur méthane qui partira dans l'atmosphère ».* Le réchauffement climatique récent a d'ores et déjà dégradé de grandes parties du pergélisol en Alaska et en Sibérie.

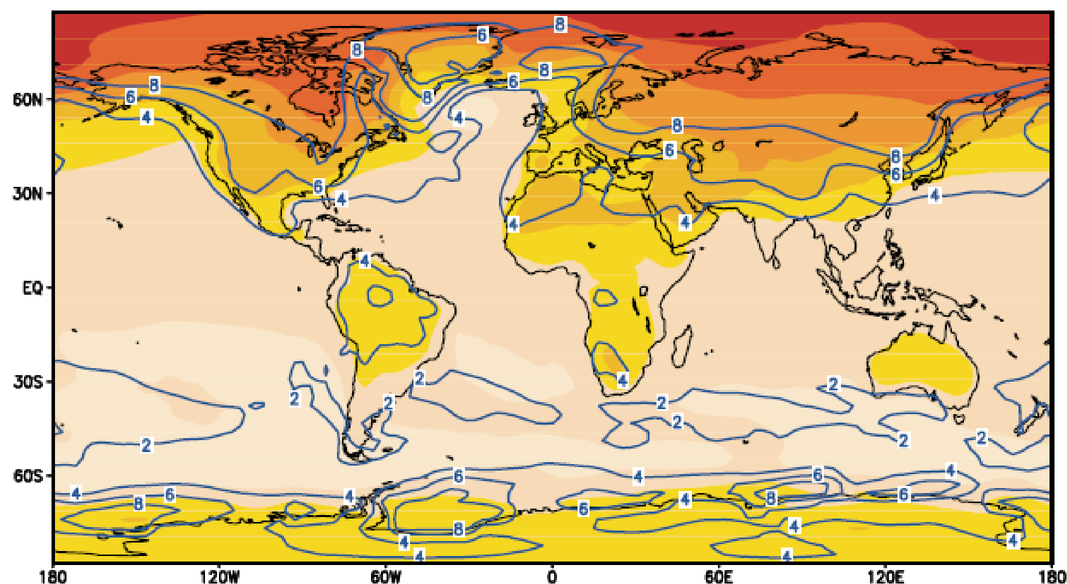
Les dernières modélisations du phénomène montrent, qu'à émissions constantes de gaz à effet de serre, la couche de pergélisol passe de 6,5 millions de km² à 1,5 million de km² d'ici 2050 pour se réduire à environ 1 km² en 2100. Dans un scenario à émissions réduites, la surface recouverte par le pergélisol passe à 2,5 millions de km² en 2100. En tout état de cause, il faut s'attendre à ce que le réchauffement climatique actuel, poursuivi dans les décennies à venir du fait de l'inertie du système, conduise à la libération de quantités très significatives de méthane et accélère encore le phénomène.

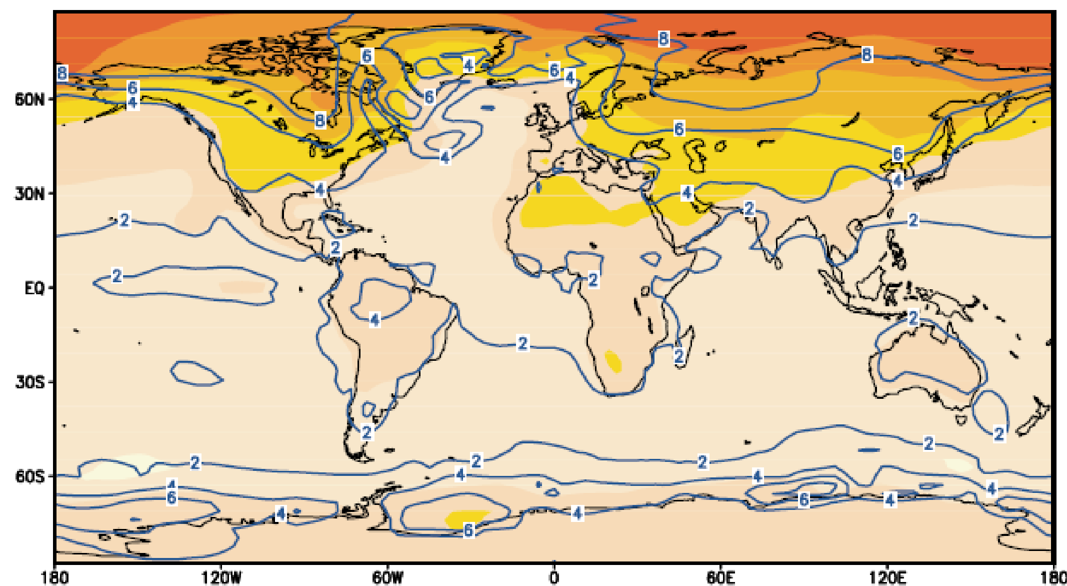
*

*   *

M. Robert Kandel soulignait au cours de son audition que *« la Terre est quand même plus agréable que la lune, mais le temps presse, parce que ce que nous déciderons dans les prochaines années aura une influence sur ce qui se passera au cours des prochaines décennies, mais il ne sera pas facile d'inverser la tendance actuelle ».*

De même, M. Jean-Louis Etienne, entendu par la Mission d'information a estimé que l'on *« commence à dire « arrière toute », mais il faudra du temps pour que la machine s'arrête ».*





Variation annuelle moyenne de la température (zone colorée) et sa plage (isolignes) (Unité : C) pour le scenario A2 du SRES (partie supérieure) et le scenario B2 du SRES (partie inférieure). Les deux scenarii du SRES indiquent la période 2071 à 2100 par rapport à la période 1961 à 1990 et ont été appliqués aux CGAO

Les projections relatives à l'évolution des températures révèlent l'absence d'uniformité du phénomène : les gradients de température remontant vers le nord de l'hémisphère terrestre, les deux pôles connaissant une augmentation de la température.

Source : GIEC

Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer

Il est impossible de savoir maintenant où l'effet de l'élévation du niveau de la mer sera le plus ressenti. Les inconnues sont encore trop nombreuses aujourd'hui, mais, d'une manière générale, il est fort probable que des îles à basse altitude telles que les îles Maldives ou les atolls de l'Océan pacifique disparaîtront de la carte. En d'autres endroits du globe, les ports, les sites culturels, les sites historiques implantés en bordure de mer et les plages touristiques sont menacés. Par ailleurs, les infrastructures (digues, brise-lames, etc.) devront être adaptées au fur et à mesure que le niveau de la mer augmentera. Les marais et les estuaires jouent souvent un rôle important dans la prévention des inondations ; en outre, ils abritent généralement une faune et une flore d'un très grand intérêt. Toutefois, s'ils sont constamment immergés du fait de l'élévation du niveau de la mer, ils ne pourront plus exercer leur fonction de drainage, ce qui signifierait la disparition de tout ce biotope. Plusieurs pays cultivent également les aliments dont ils ont besoin dans les deltas des rivières, qui risquent eux aussi de disparaître, notamment dans l'Amazone, le Gange, l'Indus, le Mékong, le Mississippi, le Niger, le Pô et le Yangzi Jiang. Enfin, les inondations, tornades, tempêtes et cyclones tropicaux seront plus intenses et causeront davantage de dégâts qu'aujourd'hui.

Les conséquences pour la nature

Les changements climatiques entraîneraient une augmentation de la fréquence des évènements climatiques extrêmes qui ne seraient pas sans conséquences sur la population et l'écosystème en général. L'effet de serre sera à l'origine du déplacement des zones climatiques vers les pôles. Celui-ci ne conduira pas partout à des modifications spectaculaires telles la désertification ou la submersion mais il aura une influence considérable sur les systèmes naturels. De nombreux écosystèmes naturels existants ne pourront pas s'adapter suffisamment vite aux conditions changeantes et seront profondément perturbés ou appelés à disparaître. Il existe un risque réel de voir le biotope d'un grand nombre d'espèces animales et végétales se déplacer trop vite pour que les espèces aient le temps de s'adapter. Le changement de climat provoquera un appauvrissement de la biodiversité. Les températures minimales, plus élevées, perturberont le taux de production agricole tout en réduisant la demande hivernale d'énergie à des fins de chauffage. Les précipitations intenses deviendront plus fréquentes, entraînant une augmentation des épisodes d'inondations, d'avalanches et de glissements de terrain ainsi qu'une aggravation de l'érosion des sols ; les sécheresses estivales deviendront plus sévères aux

moyennes latitudes, ce qui entraînera une baisse de la production agricole, de la quantité et de la qualité des ressources hydriques ainsi qu'une augmentation des risques de feux de forêts. Les épisodes de cyclones et de pluie torrentielle deviendront plus fréquents mettant ainsi en péril la vie d'une partie de la population et entraînant une élévation de l'érosion côtière ainsi que des dommages au niveau des constructions et des infrastructures côtières. Les sécheresses ainsi que les inondations, associées aux évènements d'El Nino, pourraient s'intensifier dans certaines régions, causant ainsi une diminution de la production agricole ; les orages et tempêtes deviendront plus intenses aux latitudes moyennes ce qui entraînera des risques non négligeables de santé et de survie humaine ainsi que des dommages plus importants sur les écosystèmes côtiers.

L'impact sur les réserves d'eau potable

La modification du régime des précipitations se fera au détriment des zones déjà sèches aujourd'hui. L'élévation de la température accroîtra l'évaporation des réserves aquatiques, réduisant par là les réserves d'eau disponibles. Un autre effet du réchauffement se remarquera surtout dans les régions côtières. La baisse des eaux souterraines va être compensée par un apport d'eau de mer salée qui ne conviendra ni à une utilisation agricole, ni à un usage ménager. Les villes ou les communautés agricoles côtières devront donc se mettre à la recherche d'autres sources d'eau douce alors que celles-ci sont déjà réduites.

Les conséquences à long terme dans le monde

Le tableau ci-dessous reprend les projections les plus favorables et les moins favorables établies par le GIEC pour le rapport 2001

Evolution des émissions de gaz à effet de serre au niveau international

	Niveau d'émission actuel (1990)	Scenario le plus favorable (en 2100)	Scenario le moins favorable (en 2100)
Dioxyde de carbone (CO_2)	27,1 Gt*	16,9 Gt	131,3 Gt
Méthane (CH4)	0,506 Gt	0,546 Gt	1,168 Gt

*Gt : gigatonne = mille millions de tonnes = un milliard de tonnes = mille milliards de kilos

Remarque : les projections du CO_2 ne tiennent compte que des émissions d'origine anthropique. Les projections du CH4 et du N_2O regroupent les émissions naturelles et les émissions anthropiques. En 1990, les émissions naturelles étaient de 0,340 Gt pour le CH4 et 0,015 Gt pour le N_2O.

Conséquences, indicatives, par continent

AFRIQUE

La capacité d'adaptation du continent africain est faible du fait de la faiblesse des ressources économiques et technologiques, sa vulnérabilité est importante principalement en termes de sécheresse, d'inondation et de pauvreté. Le rendement des récoltes connaîtrait une baisse importante, diminuant ainsi la sécurité alimentaire dans la région. Les débits moyens et la disponibilité hydrique connaîtront une baisse notamment dans les pays de la Méditerranée et de l'Afrique du sud ; les changements climatiques ne pourront qu'exacerber le problème de la désertification, à cause de la réduction des précipitations moyennes annuelles, du débit et de l'humidité du sol, particulièrement dans le Nord et l'Ouest de l'Afrique. La fréquence des épisodes de sécheresses, d'inondations et autres événements extrêmes ne feraient qu'aggraver la question des ressources hydriques et de santé humaine. Les installations côtières dans certains pays d'Afrique tels le Golfe de Guinée, le Sénégal, la Gambie et l'Egypte pourraient être concernées par l'élévation du niveau de la mer, les inondations ainsi que l'érosion côtière.

ASIE

Les capacités d'adaptation sont faibles et la vulnérabilité importante en Asie. Les évènements climatiques extrêmes seront plus fréquents dans l'Asie tropicale et tempérée, provocant inondations, sécheresses, feux de forêts et cyclones tropicaux. La production agricole connaîtrait une baisse du fait du stress hydrique, des inondations, des sécheresses et des cyclones tropicaux. Ceci aurait pour conséquence directe une diminution de la sécurité alimentaire dans les pays arides, tropicaux et tempérés de l'Asie. Le débit de l'eau et la disponibilité hydrique diminueront dans l'Asie aride et semi-aride, mais connaîtront une augmentation dans le nord du continent Asiatique. La santé des populations pourrait être menacée par une augmentation possible d'exposition aux maladies infectieuses dans certaines régions. L'élévation du niveau de la mer ainsi que l'intensité accrue des cyclones tropicaux pourraient entraîner la migration des dizaines de millions de personnes se trouvant dans les zones côtières de l'Asie tropicale et tempérée. Les modifications du climat pourraient aussi entraîner une hausse des besoins en énergie, une diminution des activités touristiques ainsi qu'une aggravation de la menace sur la biodiversité.

EUROPE

La capacité d'adaptation est globalement élevée en Europe. Cependant, l'Europe du sud et l'Arctique européen sont plus vulnérables que les autres régions du continent. Le débit estival de l'eau, la disponibilité hydrique ainsi que l'humidité des sols seront diminués en Europe du sud, ce qui aggravera les disparités Nord/Sud. La moitié des glaciers des Alpes pourraient disparaître vers la fin du XXIe siècle ; la fréquence des inondations et l'érosion augmenteront avec des conséquences importantes sur l'industrie, le tourisme et l'agriculture. Au demeurant, des effets positifs sur l'agriculture pourraient être constatés dans le nord de l'Europe, en revanche, le sud et l'est connaîtront une baisse de la production agricole. L'élévation de la température et les vagues de chaleur pourraient changer les destinations traditionnelles des touristes en été ; l'insuffisance de l'enneigement ne restera pas sans impact sur le tourisme en hiver.

OCEANIE

Le continent est relativement bien doté en moyens de lutte. Toutefois, il devra faire face à des risques d'incendie accrus (semblables à ceux du début de l'année 2002 par exemple) ainsi qu'à la sécheresse et la salinité des terres. De nombreuses îles et atolls seront submergés, particulièrement en Micronésie.

AMERIQUES

Le nord du continent aura probablement plus de facilité pour lutter contre les changements climatiques alors que le sud devra faire face à des problèmes de sous-équipement ainsi qu'aux conséquences de l'urbanisation mal contrôlée qu'il pratique (construction en zones inondables, à fleur de falaise, etc.). Globalement, tout le centre du continent (de la Californie au Panama) subira une forte augmentation de la température. Le Sud devra faire face à un climat encore plus humide en partie à cause d'El Niño ce qui se traduira par des précipitations diluviennes alors que le Nord sera confronté à des périodes de froid plus rudes, ce qui paralysera les moyens de transport et dégradera les infrastructures. Les inondations seront plus importantes (surtout dans le delta du Mississipi). A l'instar de l'Europe du nord, la partie Nord du continent, du fait de son niveau de développement, sera mieux armée mais les coûts seront difficilement supportés par l'économie.

Source : Site internet : http://membres.lycos.fr/jaby1/ (signalé par le Sénat français)